

UNIVERSITÉ DE PARIS — ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

Année 1910-1911 — N° 14

ÉTUDE
DES
SÉDIMENTS ET DÉPOTS

DES
EAUX MINÉRALES
DE LA LIMAGNE D'AUVERGNE

THÈSE
Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris
(Pharmacie)

Présentée et soutenue le Juin 1911

PAR

PAUL-JEAN GARNAUD
Pharmacien de 1^{re} Classe

JURY { MM. BERTHELOT, Président.
 LEBEAU, Professeur.
 TASSILLY, Agrégé.

CLERMONT-FERRAND
IMPRIMERIE MODERNE, A. DUMONT, DIRECT^r
15, Rue du Port

1911

ÉTUDE
DES
SÉDIMENTS ET DÉPOTS
DES
EAUX MINÉRALES
DE LA LIMAGNE D'AUVERGNE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546316_0047

UNIVERSITÉ DE PARIS — ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE
Année 1910-1911 — N° 14

ÉTUDE
DES
SÉDIMENTS ET DÉPOTS
DES
EAUX MINÉRALES
DE LA LIMAGNE D'AUVERGNE

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Docteur de l'Université de Paris
(Pharmacie)

Présentée et soutenue le Juin 1911

PAR

PAUL-JEAN GARNAUD

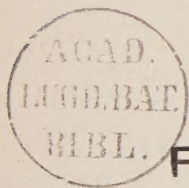
Pharmacien de 1^{re} Classe

JURY { MM. BERTHELOT, Président.
LEBEAU, Professeur.
TASSILLY, Agrégé.

CLERMONT-FERRAND

IMPRIMERIE MODERNE, A. DUMONT, DIRECT^r
15, Rue du Port

1911



PERSONNEL DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

ADMINISTRATION

MM. GAUTIER, Directeur, *, 🌿 I.
BOUCHARDAT, Assesseur, O. *, 🌿 I.
E. MUSSON, Secrétaire, 🌿 I.

PROFESSEURS

MM. BOUCHARDAT, O. *, 🌿 I. Hydrologie et Minéralogie.
GUIGNARD, Membre de
l'Institut, O. *, 🌿 I. . . . Botanique générale.
VILLIERS *, 🌿 I. . . . Chimie analytique.
BOURQUELOT, *, 🌿 I. . . . Pharmacie galénique.
GAUTIER, *, 🌿 I. . . . Chimie minérale.
RADAIS, 🌿 I. . . . Cryptogamie.
BÉHAL, O. *, 🌿 I. . . . Chimie organique.
PERROT, *, 🌿 I. . . . Matière médicale.
COUTIÈRE, 🌿 I. . . . Zoologie.
BERTHELOT, 🌿 I. . . . Physique.
GRIMBERT, 🌿 I. . . . Chimie biologique.
MOUREU, *, 🌿 I. . . . Pharmacie chimique.
LEBEAU, 🌿 I. . . . Toxicologie.

Directeur honoraire : M. GUIGNARD, O. *, 🌿 I.

Professeur honoraire : M. JUNGFLEISCH, O. *, 🌿 I.

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM. GUERBET, 🌿 I.	MM. GUÉRIN, 🌿 I.
DELÉPINE, 🌿 I.	GUÉGUEN, 🌿 I.
VALEUR, 🌿 A.	LUTZ, 🌿 I.
BOUGAULT, 🌿 A.	HÉRISSEY, 🌿 I.
TASSILLY, 🌿 I.	

CHEFS DES TRAVAUX PRATIQUES

MM. DEFACQZ, 🌿 I. . . . Chimie générale.
COUSIN, 🌿 I. . . . Chimie analytique.
SOUÈGES, 🌿 A. . . . Micrographie.
MOURLOT, 🌿 I. . . . Physique.
BARTHELAT, 🌿 I. . . . Microbiologie.

Chef du laboratoire des examens pratiques : M. JAVILLIER, 🌿 A.

Bibliothécaire en chef : M. DORVEAUX, 🌿 I.

A mon père et à ma mère

*A ma femme
et à mes enfants*

A mes parents

A mes amis

A mon président de Thèse
M. DANIEL BERTHELOT
Professeur de Physique
à l'Ecole supérieure de Pharmacie

INTRODUCTION

En examinant les sédiments et dépôts abandonnés par les sources minérales de l'Auvergne, ainsi que les belles incrustations obtenues par ces eaux, nous avons été frappé de ce que l'étude de ces substances était presque complètement négligée.

Puisque l'on analyse méticuleusement les eaux, pourquoi ne pas en faire autant des dépôts ? Ils sont abondamment fournis par certaines sources, soit au griffon, soit dans les conduites qu'elles parcourent. D'après les travaux de Chevreul, confirmés par Grandeau, sur l'emprisonnement dans les précipités des sels dissous dans l'eau, l'on doit y retrouver ces sels.

Pendant les manœuvres du service de santé de 1909, en parlant à notre ami, M. le Docteur Gautrelet, de cette lacune dans les recherches sur nos eaux minérales, il nous a vivement engagé à présenter ce modeste travail à notre Maître, M. le Professeur Berthelot, qui a bien voulu l'accepter.

Cette étude comprend l'examen spectroscopique des sédiments et dépôts des eaux minérales de la vallée de l'Allier, dans la Limagne d'Auvergne.

Nous l'avons divisée en deux parties :

Dans la première, après avoir donné des considérations générales sur le département du Puy-de-Dôme et la Limagne, nous signalons les caractères, la formation et la classification des eaux minérales d'Auvergne, et nous passons rapidement en revue les divers corps chimiques, radioactifs et gaz rares que l'on y rencontre.

La seconde partie renferme principalement des recherches personnelles ; nous avons réuni en un chapitre tout ce que nous avons trouvé sur la formation, les analyses et la classification des sédiments et dépôts de la Limagne, nous faisons une description de la préparation des incrustations (pétrifications), nous indiquons ensuite le principe et les précau-

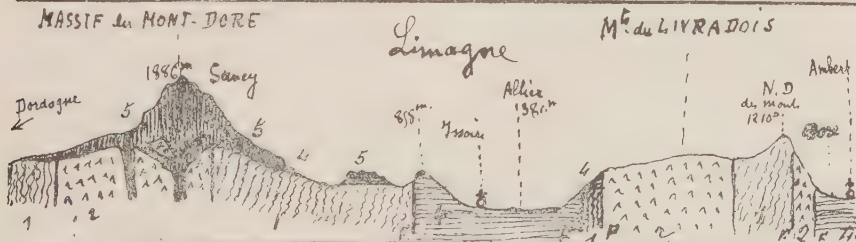
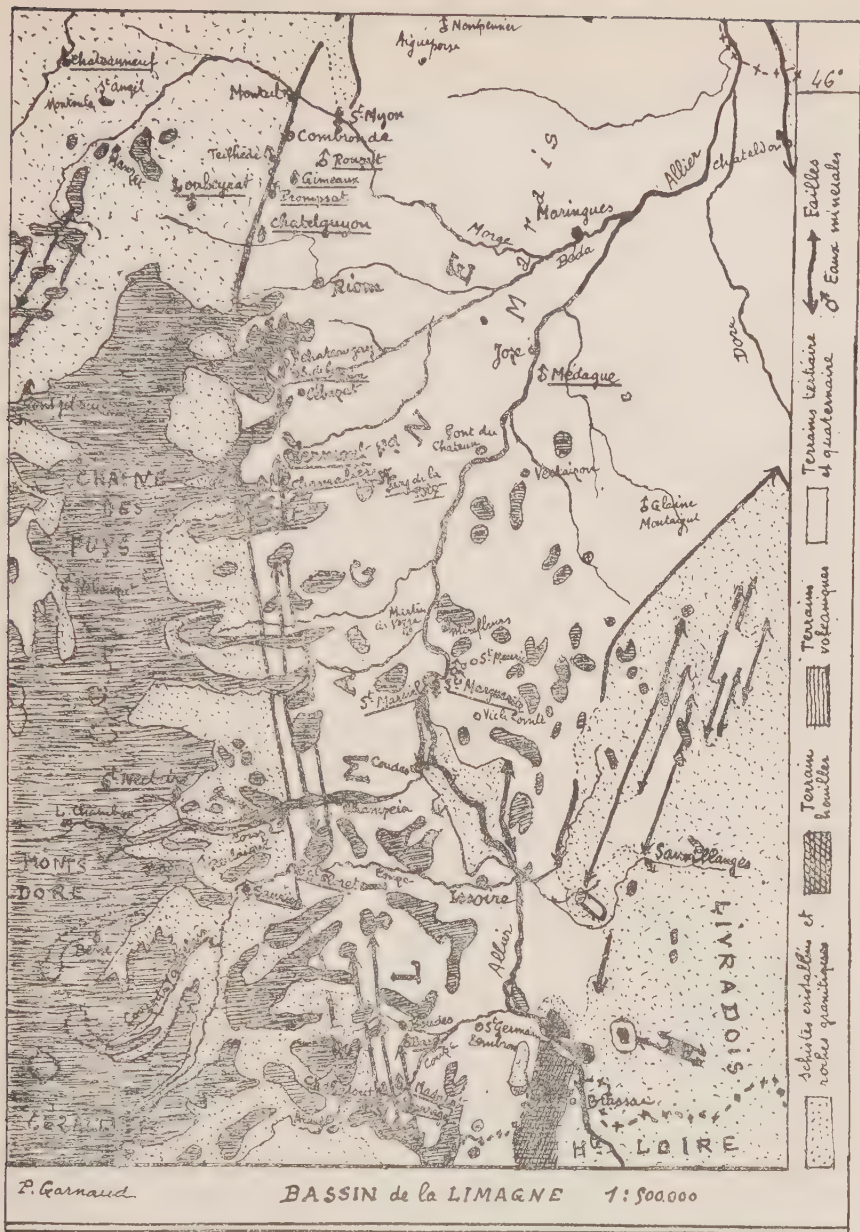
tions à prendre dans l'analyse spectroscopique, la description et la graduation de notre spectroscope, puis nous passons à l'étude particulière des cinquante sources dont nous avons prélevé des sédiments et des dépôts ; enfin, nous donnons nos conclusions.

Un tiers des sources et plus des onze douzièmes des dépôts laissés par ces eaux n'avaient pas encore été analysés avant nous.

Nous n'avons trouvé aucune trace d'un ouvrage d'ensemble sur les sédiments et dépôts de nos eaux minérales ; aussi avons-nous fait un travail bibliographique assez considérable dont une partie seulement est indiquée, nous réservant de citer à la bibliographie les ouvrages consultés pendant nos recherches.

Nous adressons nos sincères remerciements à M. le Professeur Berthelot qui a bien voulu diriger cette étude, ainsi qu'à M. le Professeur Glangeaud et à M. Héribaude, qui, par leurs bons renseignements, nous ont facilité la recherche des eaux laissant des sédiments et dépôts.

Planche I



- | | | |
|------------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1 Schistes cristallins | 3 terrain houiller | 5 Roches volcaniques pliocènes |
| 2 granites | 4 Oligocène | F failles. |
- Coupe géologique du dépt. du Puy-de-Dôme d'après Marcel Boul. (P.D. des Vichy p. 7)
 longueur 1:500,000, hauteur 1:80,000

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I

1^o Département du Puy-de-Dôme

Le département du Puy-de-Dôme ou Basse-Auvergne est situé entre 45° 18' et 16° 16' de latitude Nord et 0° 5' 54" et 1° 36' de longitude Est du méridien de Paris.

Sa surface est de 795.051 hectares.

Sa plus grande longueur du N.-O. au S.-E. est de près de 140 kilomètres. Sa largeur de 82 kilomètres, atteint près de 100 kilomètres du N.-E. au S.-E. Son contour est d'environ 450 kilomètres. Il est borné : au nord, par le département de l'Allier ; à l'est, par celui de la Loire ; au sud, par ceux de la Haute-Loire et du Cantal ; à l'ouest, par ceux de la Corrèze et de la Creuse.

Il possède des montagnes remarquables : le pic de Sancy (1886 mètres) ; le puy de Dôme (1465 mètres) ; Pierre sur Haute qui est à 1.640 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Les parties les plus basses descendent : dans le bassin de la Dordogne, à 487 mètres ; dans le bassin de la Sioule, à 350 mètres ; dans celui de l'Allier, à 257 mètres (Gonod).

Notre département peut être divisé en trois régions sensiblement parallèles et de direction N.-S. (voir planche I, page 9).

La première comprend une région volcanique, de granites et de schistes, formant les pentes occidentales des monts Dorés et des monts Dômes et les plaines montagneuses des deux bassins secondaires de la Dordogne et de la Sioule, ainsi qu'une portion du bassin du Cher (Pionsat).

La seconde région est formée par le bassin de l'Allier, auquel appartiennent les pentes orientales des monts Dorés et des monts Dômes, les pentes occidentales des montagnes du Livradois et la plaine de la Limagne.

La troisième région correspond au bassin de la Dore, à la formation duquel concourent les pentes occidentales des montagnes du Forez et les pentes orientales des montagnes du Livradois.

2° La Limagne

Cette vaste plaine d'une longueur de 120 kilomètres environ, d'une largeur de 30 à 40 kilomètres et d'une altitude de 300 à 700 mètres, forme la partie la plus basse et la plus riche du département (voir planche I, page 9).

La partie la plus large est au nord ; dans le centre et vers Clermont-Ferrand, elle se retrécit en une vallée n'ayant parfois qu'un ou deux kilomètres de largeur. Elle est traversée dans sa longueur par l'Allier, le cours d'eau le plus important du centre de la France, qui reçoit, comme affluents, la Dore et plusieurs Couzes.

Ancien lac tertiaire, elle forme un grand pli concave (synclinal) comblé par les sédiments oligocènes (arkoses, calcaires, marnes) d'une épaisseur de plus de 1.000 mètres sur certains points.

On peut diviser la Limagne en trois parties bien distinctes : au nord de Riom, c'est une plaine sans collines, le Marais ; au centre, c'est la Limagne de Clermont plus accidentée, avec de nombreuses collines isolées, s'étendant sur les deux rives de l'Allier et dominant la plaine de 200 à 300 mètres ; enfin, au sud, la Limagne d'Issoire ou Lembron, région semblable à la précédente, mais séparée de celle de Clermont par le horst granitique de Coudes-Sainte-Yvoine.

La Limagne est renommée par sa fécondité, ses terres fortes et grasses, produisant, sans s'épuiser, de belles moissons. On l'a surnommée le « Jardin de la France ».

M. Glangeaud dit que cette fertilité est due en grande partie à une cause géologique. « Ce sont, en effet, les projections volcaniques de la chaîne des puys (cendres, pouzzolanes), transportées par le vent ou entraînées par l'eau et mélangées aux éléments granitiques et schisteux, qui ont fourni et fournissent encore l'élément fertilisant, grâce à leur richesse en phosphore. »

FAILLES DE LA LIMAGNE. — Au miocène inférieur par suite d'une série de mouvements, il se forme de grandes fractures N.-S., parallèles en général à la direction du synclinal de la Limagne. Ces fractures ont plus de 200 mètres de hauteur et 60 kilomètres de longueur. Elles limitent géographiquement et géologiquement la Limagne des régions qui l'en-

cadrent (voir planche I, page 9). Certaines de ces failles sont volcaniques et hydrothermales ou seulement l'un ou l'autre (Clermont, Gravenoire, Royat, Châtelguyon, etc.).

C'est sur ces failles que nous trouvons les sources d'eaux minérales, les dégagements très importants d'acide carbonique (Montpensier, Le Salet), du bitume qui coule le long des cassures (Pont-du-Château), ainsi que du pétrole mêlé au bitume (Puy Crouelle, Puy de la Poix, Cébazat). Ces substances diverses auraient donc une même origine profonde, puisque, par la même fracture, ont pu sortir à la fois des laves, des eaux minérales, des gaz, du bitume, du pétrole (Glangeaud).

Les sources d'eaux minérales sont sur deux lignes de failles :

La première, allant du Sud au Nord, est une ligne centrale qui suit le cours de l'Allier. Elle présente les sources de Saint-Martial (Tambour, etc.), Saint-Maurice (Sainte-Marguerite) et les sources de Joze.

La deuxième ligne longe le bord occidental de la Limagne, toujours dans la direction S.-N. Elle laisse sortir les eaux minérales de Boudes (Bard), Clermont, Chamalières, Royat, Châtelguyon, Prompsat, Gimeaux, Beauregard (Rouzat).

Les pentes occidentales des montagnes de l'ouest et leurs soubassements sont creusées de petites vallées dans lesquelles s'échappent plusieurs sources minérales. Celles de Madriat, d'Augnat (Barrège) et Chabetout, naissent dans les vallées tributaires de la Couze d'Ardes ; celles de Saint-Floret, Saurier, sont placées sur les bords de la Couze d'Issoire ; celles de Saint-Nectaire sont situées sur les rives du Courançon, affluent de la Couze du Chambon.

CHAPITRE II

EAUX MINÉRALES

1° Caractères d'une eau minérale

Notre département est très riche en eaux minérales ; en y rattachant le groupe de Vichy, elles représentent le tiers du nombre des sources minérales françaises. On y compte plus de trois cents sources, de minéralisation variée, en exploitation, et combien d'autres utilisées sur place par les habitants.

Une eau minérale est une eau de source qui, par sa température ou la nature des matières dissoutes, n'est pas utilisée pour les usages ordinaires.

Son caractère est d'avoir une température, une composition et un débit constants, non influencé par les changements de saisons, les pluies, etc., mais seulement par des perturbations ou des phénomènes géologiques (tremblements de terre, Dr Girod).

2° Théories de la formation des Eaux minérales

Elles proviennent des eaux météoriques (Daubrée, Jacquot, de Launay) ou sont d'origine ignée (de Beaumont, Suess, A. Gautier).

M. A. Gautier (1910) dit que : 1° *les eaux météoriques* sortent presque toujours de failles n'ayant aucun rapport avec les filons métalliques de la région, quand ces filons existent ; leur débit et leur minéralisation varient ainsi que la température, si elle est supérieure à 15 ou 20 degrés. L'on ne trouve pas dans ces eaux les éléments des déjections volcaniques des grandes profondeurs (Bo, Ph, As, Br, I, Fl, Cu, Fe, sels sodiques, sulfures et carbonates, silicates, azote et gaz rares, ammoniacque), mais l'on y rencontre des sels terreux. 2° *Les eaux d'origine ignée*, d'un débit rythmé constant, ainsi que la composition, d'une température ordinairement chaude (jusqu'à 80°), sont en relation avec les filons métal-

liques, se rencontrent dans les pays volcaniques, ne contiennent pas de carbonates terreux, mais renferment les éléments des émanations volcaniques.

FORMATION DES EAUX MINÉRALES DE LA LIMAGNE. — M. E. Gautrelet a donné une théorie particulière de la formation des eaux minérales de la Limagne d'Auvergne et du bassin de Vichy, de Brassac à Vichy.

« Cette théorie, non pas des eaux superficielles, mais « théorie des eaux pluviales » du massif des Dômes et Puys d'Auvergne s'amassant dans les volcans lacs actuels, et s'en écoulant lentement par des fissures latérales (à direction E.-N.-E.) pour venir se minéraliser ; carboniquement au contact des gaz sourdant des houillères sub-marneuses ou juxta-marneuses, et alcalimétriquement au contact du gigantesque dépôt miocène limagnais, pour donner l'ensemble des eaux minérales du bassin de Vichy. »

Il donne, à l'appui de cette théorie, l'analyse par Bouquet, de marnes diverses prélevées à 31, 50 et 84 mètres de profondeur, contenant sable et argile, sesquioxyle de fer, carbonate de chaux, carbonate de magnésie, potasse, soude, eau et matière organique et cite le fait que ces marnes sur la rive gauche de la Limagne actuelle, ne sont plus en couches horizontales, contrairement à leur dépôt primitif, par suite du soulèvement du plateau central, mais fortement inclinées dans le sens de la rive droite, vers les monts du Forez. Ces marnes imperméables étant séparées par des lits de sable quartzeux. Il se base également sur le relèvement des vases de l'ex lac limagnais de cent mètres environ sur la rive auvergnate, en comparaison avec la rive forézienne, concordant avec leur dessèchement pour constituer les marnes actuelles, ainsi que sur le degré géothermique de la Limagne de 14 m. 16 au lieu de 31 m., trouvé par M. Lévy dans un sondage de plus de 1.200 mètres. Tous ces faits lui donnant la clef d'une théorie nouvelle de la formation des eaux de lévigation de ces marnes et des émanations carboniques du terrain houiller régional.

Pour répondre à l'objection que ces dépôts étaient insuffisants et seraient bientôt lixiviés, il a calculé que ce sous-sol perdrait 1.825.000 kilogrammes de sels par an, ce qui, d'après le cube des marnes, ferait qu'il s'écoulât plus de treize millions d'années, à partir du commencement de l'époque quaternaire, pour que le sous-sol de la Limagne fut épuisé.

3° Classification des eaux minérales d'Auvergne

(D^r Boucomont)

1° *Carboniques simples*, ne contenant guère que de l'acide carbonique, froides, genre des eaux de Seltz :

Ambert (Sources de la Gerbe et de la Rodde), Chambon (S. de la Pique et de la Garde), Glaine-Montagut (S. du Cornet), St-Amant-Rocche-Savine (Sources de la Fayolle, des Chemailles, des Querettes), Vernet-Ste-Marguerite et Grand-rif ;

2° *Bicarbonatées sodiques*, avec prédominance de bicarbonate de soude, absence de chlorures et présence d'un peu de fer :

Courpière (S. du Pré, du Puits, buvette Ligne), Châtel-don ;

3° *Bicarbonatées mixtes* (sodiques et calciques), aux bicarbonates alcalins s'ajoutent des carbonates terreux. On en a exclu toutes celles qui ont une trop faible quantité de carbonate de chaux ou une assez forte proportion de chlorure de sodium :

Beaulieu, Chambon (S. de la Pique, Vouassière, de Chaudefour), Chaudefour (2 sources), Châteauneuf (quelques sources), Egliseneuve (4 sources), Rouzat (quelques sources) et Saint-Myon.

Chlorobicarbonatées très nombreuses en Auvergne, avec une minéralisation variant de 1 à 8 grammes de sels par litre, sont divisées en trois classes : légères, moyennes et fortes. Du chlorure de sodium, du fer et de l'arsenic viennent atténuer les propriétés altérantes et fluidifiantes des sels alcalins (bicarbonates alcalins et terreux).

4° *Chlorobicarbonatées légères* à moins de 1 gramme de sels par litre :

Saint-Maurice (2 sources de la Chapelle, Bromont) (S. Javel.) ;

5° *Chlorobicarbonatées moyennes*, de 1 à 3 gr. de sels par litre :

Augnat (3 sources de Barrège), Chamalières (les Roches),

Clermont (16 sources), Coudes (2 sources), Gimeaux (3 sources), Médagues (4 sources), Royat (5 sources), Châteauneuf (6 sources), St-Maurice (5 sources), Manzat (3 sources).

6° *Chlorobicarbonatées fortes*, au-dessus de 3 gr. de sels par litre :

Martres (5 sources), St-Maurice (3 sources), Châtelguyon (10 sources), Saint-Nectaire (26 sources) ;

7° *Ferrugineuses carbonatées*. — Plus de 40 sources froides très gazeuses formant un précipité ferrugineux :

Renlaigue contient 8 centigrammes de carbonate de fer ;

8° *Ferrugineuses simples ou crénatées*. — Une seule source contenant le fer comme élément important :

Source du Breuil (près de Thiers), 55 milligr. de crénate et apocrénate de fer ;

9° *Carbonatées ferrugineuses*, contenant avec les substances ordinaires une notable proportion de fer :

Besse (S. de Villetour et des Rochers de Berthaire), Chauvet (2 sources), Martres-de-Veyre (S. du Tambour, Cornet, du Saladis, et les fontaines Tixier et Mirand), St-Diéry (S. Renlaigue et la Bonnette), Rochefort (2 sources), Saint-Priest-des-Champs (4 sources), Verrières (3 sources), Arlanc (2 sources) ;

10° *Arsénicales* : Mont-Dore (élément dominant à cause du degré peu élevé de la minéralisation) ;

11° *Chloroarsénicales* : La Bourboule (contenant une grande quantité d'arsenic).

12° *Chlorurée, sulfureuse, bitumineuse* : Source du Puy de la Poix (près Clermont).

4° Composition des Eaux minérales

Acide Carbonique. — Toutes les sources minérales de la Limagne en renferment. On en observe des dégagements dans plus de 200 endroits, où il sort toujours par des failles, seul ou avec des eaux minérales. Quelquefois le sous-sol en est tellement imprégné que l'on ne peut pas construire de caves (Clermont vers Jaude, Châtelguyon). M. Glangeaud a calculé qu'il s'en dégage plus de 100 millions de litres par jour (soit 200.000 kilogrammes). A Montpensier, à 2 kilomètres d'Aigueperse, près de la fontaine empoisonnée, le propriétaire, sur les indications de M. Glangeaud, a retrouvé des venues abondantes d'acide carbonique. Ces sources donnant plus de trois millions de litres, sont utilisées à la fabrication de l'acide carbonique liquéfié. Ce gaz est plus pur que l'artificiel, car il ne contient ni oxyde de carbone, ni arsenic, mais seulement de l'oxygène et de l'azote. Au Salet, près de Courpière, également sur les indications de M. Glangeaud, on a installé une usine de liquéfaction. Il pourrait en être de même à Royat, ainsi qu'à Saint-Nectaire, où il sort par des failles, en divers endroits.

A Clermont, aux Salins et aux Roches, il est recueilli pour la fabrication d'eaux de Seltz et d'excellentes limonades.

Bicarbonate de soude. — C'est le principe dominant de toutes nos eaux où il est en assez forte proportion (S. Grassion, 5 gr. 082), même dans celles émergeant des roches potassiques.

Bicarbonate de chaux. — Existe en forte quantité dans les eaux de la Limagne, où il est dissous à la faveur de l'acide carbonique, aussi à l'air ce gaz se dégage, le bicarbonate de chaux se précipite sous forme de calcite ou d'aragonite et sert à la préparation des incrustations (St-Allyre, 1 gr. 699 ; Gimeaux, 1 gr. 090 ; Saint-Nectaire, 0 gr. 677). Il forme des travertins considérables.

Bicarbonate de magnésie. — Surtout dans les eaux froides, associé à la chaux : St-Allyre (0 gr. 920), Rouzat (0 gr. 896), Sainte-Marguerite (0 gr. 768), Saint-Nectaire (0 gr. 530).

Bicarbonate de fer. — Il se décompose à l'air et donne un précipité rouge d'oxyde de fer : Renlaigue (0 gr. 08), Sainte-Marguerite (0 gr. 06), Prompsat (0 gr. 053), Royat (0 gr. 042).

Chlorure de sodium. — Très répandu : Puy de la Poix (70 gr. 917), St-Nectaire (2 gr. 80), Ste-Marguerite (2 gr. 250), Royat (1 gr. 76), Châtelguyon (1 gr. 617), Rouzat (0 gr. 993).

Chlorure de potassium. — La potasse est moins abondante : Châtelguyon (0 gr. 178), Rouzat (0 gr. 042).

Chlorure de lithium. — Recherché par MM. Truchot et Fredet (1875), dans les eaux de la Limagne : St-Nectaire (25 milligr.), Châtelguyon (28 milligr.), Royat (35 milligr.), Ste-Marguerite (40 milligr.), Puy de la Poix (142 milligr.).

Chlorure de magnésium. — Châtelguyon (1 gr. 617), Prompsat (0 gr. 610), Puy de la Poix (0 gr. 571).

Sulfate de soude. — Quelquefois en assez grande quantité : Puy de la Poix (7 gr. 948), Prompsat (0 gr. 563), Châtelguyon (0 gr. 526), Rouzat (0 gr. 298).

Sulfate de potasse. — Rouzat (Lacaze 0 gr. 492).

Acide sulfhydrique. — Beaucoup de sources en dégagent : Puy de la Poix (0 gr. 386 de sulfure de sodium).

Arsenic. — Existe à l'état d'arséniate de soude : Royat (St-Victor, 0 gr. 0045), Saint-Nectaire (0 gr. 0015).

Iode. — A l'état de traces à Royat, Rouzat, Gimeaux.

Brome. — Clermont (Puits artésien), Les Roches.

Azote. — Dans les eaux sulfureuses, au Puy de la Poix associé à l'oxygène (0 gr. 042).

A l'état de *bicarbonate d'ammoniaque* dans la source Grasion (0 gr. 027).

Phosphore. — Sous forme de phosphate de soude à Gimeaux, Royat (0 gr. 018) ; de phosphate de fer à Rouzat, Châtelguyon.

Acide borique. — Traces à Châtelguyon, St-Nectaire, etc.

Silice. — Royat (César 0 gr. 167), Rouzat (0 gr. 152), Prompsat (Debord 0 gr. 122), Châtelguyon (0 gr. 1108).

Alumine. — Indices dans les eaux de Royat, Châtelguyon.

Strontium. — Dans diverses sources de la Limagne.

Rubidium et Cæsium. — Indiqués à Saint-Nectaire.

Manganèse. — Plusieurs eaux de Clermont.

Baryum, Nickel, Argent, Cuivre, Plomb, Cobalt, Mercure, dans les eaux de Saint-Nectaire.

Acides créniques et apocréniques. — Combinés au fer à Rouzat et Chabetout.

Pétrole. — Il sort avec l'eau minérale, l'acide sulfhydrique, l'acide carbonique, le bitume au Puy de la Poix et à la source de la Poix de Cébazat, où l'on voit des pellicules irisées à la surface de l'eau minérale. En Limagne, M. Michel Lévy, à Macholles, a trouvé des suintements de pétrole lourd de 985 à 1.119 mètres de profondeur.

Bitume. — Les bitumes d'Auvergne, ne sont autre chose que des naphtes ou pétroles plus ou moins lourds, plus ou moins purs, amenés par les sources bitumineuses. Lecoq dit que presque toutes les sources de la Limagne en renferment une très petite quantité (Grassion et La Vallière à Clermont). Il sort avec l'eau minérale au Puy de la Poix, à Vic-le-Comte, à Cébazat. Les points de sortie du bitume sont concentrés dans la région comprise entre le Pont de Longue, Cournon, Dallet, Pont-du-Château (où il sert à la fabrication des asphaltes), Courcour, Puy de Crouelle, de la Poix, de la Sault, Puy de l'Escorchade à Chamalières, Cébazat, Gerzat, Lussat, Malintrat.

Fluor. — M. Carles a décrit un procédé de dosage du fluor dans les eaux minérales qu'il a appliqué à la plupart des eaux de France, mais nous n'avons rien trouvé sur celles de la Limagne.

Substances fluorescentes. — M. Diénert a recherché les substances fluorescentes d'origine organique dans les eaux de Royat, St-Nectaire et Clermont (Grassion) en comparant la fluorescence donnée par ces eaux à une quantité connue de fluorescéine. Il conclut que toutes les sources étudiées en contiennent, surtout les goudronneuses, et que la quantité diminue avec l'augmentation du résidu fixe, de la température et de l'étanchéité du captage.

Colloïdes. — Dès 1875, la présence des colloïdes dans les eaux minérales avait été soupçonnée par Loutry et par Garrigou. Iscovesco, en 1906, trouve des colloïdes électro-négatifs dans les eaux sulfureuses et arsénicales.

C'est d'après les travaux d'Iscovesco, que MM. Foucaud et Salignat entreprennent leurs recherches et trouvent des colloïdes de signe électro-négatifs dans les eaux de Châtelguyon.

Substances radioactives. — Divers observateurs ont constaté que des résidus d'eaux minérales chauffés à 800°, peuvent fournir une émanation, ainsi que la présence de substances radioactives dans les sédiments abandonnés par ces

eaux. Les minerais radioactifs étant d'origine thermique ont été déposés par les eaux chargées de traces de ces substances.

Gaz rares. — Les recherches de MM. Ramsay, Curie, Gauthier et Moureu, ont montré que toutes les eaux minérales renferment, avec l'émanation, une petite quantité de gaz variés : hélium, argon, néon, crypton et xénon.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE I

SÉDIMENTS, DÉPOTS ET INCRUSTATIONS

1° Action de l'air sur les Eaux minérales

A leur sortie, presque toutes les eaux minérales bicarbonatées froides, tempérées ou thermales, abandonnent des dépôts, principalement au voisinage de leur point d'émergence. Les eaux contenant de notables proportions de bicarbonates terreux, en solution grâce à l'acide carbonique, lorsqu'elles arrivent au contact de l'air, subissent des modifications très importantes dans leur composition chimique. Elles laissent dégager une partie de leur acide carbonique, par suite, une certaine quantité des nouveaux sels insolubles se précipitent et il reste en dissolution dans l'eau, les nouveaux sels solubles, provenant des doubles décompositions opérées après l'évaporation.

Les eaux ferrugineuses, en perdant leur acide carbonique, donnent un dépôt ocracé. Les eaux hydro-sulfureuses donnent naissance à des hyposulfites en perdant leur odeur ; d'autres, au contraire, celles contenant des sulfates, par suite de l'action des substances organiques sur ces sels, prennent l'odeur d'œufs pourris.

C'est à ces causes tant mécaniques que chimiques que l'on doit la formation sur certains points de ces immenses dépôts aragoniques ou siliceux qui forment comme un nouveau sol et auxquels on donne le nom de tufs et travertins.

Tel est le secret des fontaines pétifiantes et de la formation des stalactites et des stalagmites. Les corps déposés par ces eaux ont des rapports étroits avec les matériaux des filons concrétionnés et beaucoup de minéraux ont été ainsi déposés, soit à l'air libre, soit dans les cassures des terrains (filons d'orpiment à Saint-Nectaire), soit dans les cavités des roches (amygdaloïdes).

2° Quantités de substances contenues dans les Eaux

M. Nivet a calculé la quantité de substances solides que pourraient amonceler les principales sources de Saint-Allyre, Saint-Mart, César, Royat et Châtelguyon, si toutes les matières insolubles qu'elles contiennent se séparaient du véhicule acide carbonique et soude qui sert à les dissoudre, soit les carbonates de chaux, de fer, de magnésie, silice, des phosphates de chaux et magnésie, du sulfate de chaux.

Il a trouvé que les quantités de sels versés à la surface par la grande source de St-Allyre, étaient de 9.518.978 kg., et de 3.807 mètres cubes (densité 2.5) dans un siècle ; pour la petite source de St-Allyre : 1.057.254 kg. et 422 m³ 90 ; pour St-Mart, Royat, Bain de César : 18.837.431 kg. et 7.134 m³ 97 ; Châtelguyon : 12.666.697 kg. et 5.066 m³ 66.

Soit 42.080.355 kilogrammes ou 16.432 m³ 11 en un siècle.

Lecoq, estime à 5.184 kilogrammes par jour, soit 1.892.160 kg. par an le poids des produits solides que, depuis des siècles, les sources de Saint-Nectaire extraient du sol infra-granitique et déposent à la surface.

Truchot, dit que la grande source de Gimeaux dépose 144 kilogrammes par jour, soit 52.560 kg. par an de carbonate de chaux.

E. Gautrelet, en évaluant à 1.000 mètres cubes par jour le débit total des sources du bassin de Vichy, a compté, en prenant une minéralisation de 5 grammes par litre, que ces eaux donnent une quantité de sels de 5 millions de grammes par jour, soit 1.825.000 kilogrammes par an.

La source Eugénie à Royat, laisse échapper 2.500 kg. de chlorure de sodium par jour, soit 912.500 kg. par an ; 50 kg. 400 de chlorure de lithium par jour, soit 18.396 kg. par an, et 5.760.000 litres d'acide carbonique par jour, soit 2.102.400.000 litres par an.

La Bourboule fournit 600 kilogrammes d'arsenic par an.

3° Sédiments et Dépôts

M. Nivet qui a étudié la formation des terrains de la Limagne, dit que « les terrains calcaires et magnésiens du bassin de l'Allier ont été abandonnés par les sources minérales nombreuses et abondantes qui déversaient leurs eaux dans le lac de la Limagne. Ils n'ont pu être déposés par la mer, car ils ne renferment aucun débris marins. Les sels de soude et de potasse, dissous dans ces liquides, ont été entraînés dans la mer par les ruisseaux et les rivières, pendant que les carbonates, les phosphates et les silicates de chaux, de magnésie et de fer, privés de leurs dissolvants naturels, la soude et l'acide carbonique, se sont déposés sur les argiles et les arkoses qui remplissaient déjà le fond du lac et affleurent le long de ses bords. La chaux carbonatée est la base de ces terrains et comme on ne la trouve point sur les montagnes et les plateaux voisins de la Limagne, il est donc impossible qu'ils proviennent des roches cristallisées.

Les fontaines acidules, au contraire, versent encore aujourd'hui, à la surface du sol, tous les sels qui entrent dans la composition des calcaires lacustres ; il est donc tout naturel de leur attribuer la formation de ces produits. Leurs dépôts se moulent sur le relief du terrain et englobent les corps organisés et inorganiques rencontrés pour former des travertins.

Autrefois comme aujourd'hui, ces eaux abandonnent de l'aragonite impure, des calcaires magnésiens, siliceux et ferrugineux ; mais les silex ne se forment plus.

Ces dépôts varient suivant qu'ils ont reçu le contact de l'air et de la lumière, ou qu'ils ont lieu dans des fentes ou des cavités soustraites à l'influence de ces corps. »

Nous avons trouvé au sommet du Puy de Loule (487 m.), près de Combronde (392 m.), des calcaires concrétionnés et autres, absolument semblables aux sédiments déposés par les sources incrustantes actuelles, ce qui vient à l'appui de la théorie de M. Nivet.

Nivet, pour prouver que les calcaires de la Limagne ont été déposés par les eaux minérales, compare l'analyse des calcaires marneux tertiaires avec celle des incrustations qui se font de nos jours :

	Travertin récant de St-Allyre	Travertin ancien de St-Allyre	Calcaires en boules du Puy de Gandaillot	Pierre à chaux de Cournon
Carbonate de chaux..	2,4000	4,0224	5,0200	8,0000
Carbonate de magné- sie.....	2,8800	2,6860	0,3800	0,3000
Carbonate de fer....	1,8400	0,6200	0,9000	0,2500
S. phosphate, alu- mine, silice, sul- fate chaux, bi- tume, etc.....	2,6320	2,5901	3,3000	1,2000
Eau et perte...	0,2480	0,0815	0,3000	0,2500
	10,0000	10,0000	10,0000	10,0000

Lefort, qui a également étudié les travertins de la Limagne, dit qu'ils n'ont pas une composition constante dans toute leur masse.

« En examinant les travertins d'une source ferrugineuse bicarbonatée, on distingue par la coloration plus ou moins prononcée des couches qui les composent, que l'oxyde de fer n'est pas répandu d'une manière uniforme, car les eaux minérales de cette classe se décomposent plus rapidement l'été que l'hiver. Il y a des moments où l'oxyde de fer est plus considérable que le carbonate de chaux et vice versa, d'où des couches ocreuses et blanches.

D'autre part, les eaux pluviales par le lavage qu'elles font subir à ces dépôts, ne tendent-elles pas à entraîner peu à peu les principes solubles pour n'abandonner que les principes sur lesquels elles ont peu d'action : la silice, l'alumine, l'argile, l'oxyde de fer. »

C'est ce qui explique la différence des incrustations actuelles avec les dépôts anciens qui se sont faits dans des milieux entièrement différents.

4° Formation des Sédiments et Dépôts

D'après Nivet, voici comment s'opère le dépôt successif de la silice et des divers carbonates terreux qui forment les travertins récents à Saint-Allyre, Royat, Châtelguyon :

« 1° Le dépôt est presque nul, partout où l'eau comprimée ne peut point se séparer de l'acide carbonique ;

2° La séparation commence aussitôt que le liquide minéral est arrivé au contact de l'air libre ;

3° A une petite distance de la source, le carbonate et l'apocrénate de fer prédominent, le dépôt est rougeâtre, léger comme boueux ;

4° A mesure qu'on s'éloigne du point de sortie, les sels de fer diminuent ; la silice et les carbonates de chaux et de magnésie prédominent de plus en plus, et les dépôts sont blancs et solides ;

5° Si la séparation des sels terreux se fait rapidement et sous l'eau, l'incrustation est cristallisée à sa surface et offre une texture fibreuse dans son intérieur, comme l'aragonite ;

6° La filtration, l'absence de la lumière, la privation d'air atmosphérique rend les dépôts blancs.

La filtration arrête le carbonate de fer à mesure qu'il se précipite ; le manque d'air empêche le protocarbonate de fer, qui est blanc, de se colorer en passant à l'état de sesquicarbonate (d'où aragonites très blanches) ;

7° Les dépôts calcaires des eaux minérales du bassin de l'Allier offrent les caractères des aragonites ;

8° Une cause inconnue indépendante de la température et de la composition, fait que certaines eaux se débarrassent promptement de leur sel martial et produisent des incrustations peu colorées, brillantes et cristallines (Petite source de Saint-Allyre, fontaine de Saint-Nectaire). »

5° Analyses des travertins et dépôts

Les travertins, sédiments et dépôts des eaux minérales de la Limagne ont été peu étudiés, voici les résultats des analyses donnés par divers chimistes.

Rouzat. — M. Terreil (1862), indique pour cent parties :

	S. du Grand Puits	Source Lacaze
Carbonate de chaux.....	5,92	12,32
Carbonate de magnésie.....	0,83	0,88
Carbonate de peroxyde de fer.....	5,79	Traces
Phosphate de peroxyde de fer.....	3,04	2,42
Arséniate de fer.....	0,77	0,37
Peroxyde de fer.....	49,72	21,35
Alumine	Traces	Traces
Sels alcalins solubles.....	0,65	0,56
Silice et argile.....	17,73	49,33
Matières organiques azotées.....	Traces	Traces
Eau de combinaison.....	15,55	13,27

Le Dr Lacaze dit que ces deux analyses diffèrent surtout parce que les dépôts n'ont pas été prélevés dans les mêmes conditions.

Saint-Allyre. — M. Girardin a analysé (1837) les travertins des ponts supérieur et inférieur :

	Pont supérieur	Pont inférieur
Carbonate de chaux.....	40,224	24,400
Sulfate de chaux.....	5,382	8,200
Carbonate de magnésie.....	26,860	28,800
Peroxyde de fer.....	6,200	18,400
Sous phosphate d'alumine.....	4,096	6,120
Carbonate de strontiane.....	0,043	0,200
Phosphate de manganèse.....	0,400	0,800
Silice.....	9,780	5,200
Crénate et apocrénate de fer.....	5,000	5,000
Matières organiques.....	1,200	0,400
Perte.....	0,015	1,080
Eau.....	0,800	1,400
	100,000	100,000

En comparant cette analyse à celle des incrustations (page 33), on voit que ces dernières sont formées en grande partie de carbonate de chaux et que les travertins contiennent en forte proportion les principes des eaux.

Royat. — Lefort, en analysant le résidu de l'eau ou le dépôt laissé sur le sol, a trouvé du manganate de soude et de l'arsenic ; il dit que toutes les eaux laissent un abondant dépôt de sesquioxyde de fer hydraté, mélangé de sulfate, de carbonate et de phosphate de chaux, d'arséniate de fer, de silice et d'alumine.

Saint-Nectaire. — Lecoq cite la moyenne de l'analyse des travertins, d'après Berthier (1818), pour 100 parties : carbonate de chaux 78, sable mêlé de silice gélatineuse 18, carbonate de magnésie 4, carbonate ou hydrate de fer se retrouvant seulement dans les cavités du travertin.

L'Ecole des mines (1877) donne l'analyse des dépôts ferrugineux : Peroxyde de fer 32 à 53 pour cent, acide arsénique de 4,07 à 4,15 pour cent.

Le Docteur Garrigou a dosé (1876) dans 100 parties de dépôt de la source du Rocher :

Acide phosphorique.....	traces
Silice.....	13,89
Iode	traces sensibles
Chaux	23,44
Magnésie.....	0,35
Soude	0,10
Lithine	sensible
Sesquioxyde de fer.....	32,51
Alumine	1,30
Arsenic	6,99
Acide sulfurique.....	
Acide nitrique.....	{ 3,72
Ammoniaque	
Chlore, Plomb, Cuivre.....	
Perte	27,70

L'auteur ne parle pas du mercure dont il avait soupçonné la présence dans l'eau de la source du Rocher.

6 Classification des Sédiments et Dépôts

M. Raoul Jagnaux range « les stalactites et stalagmites que l'on trouve dans certaines grottes, ainsi que les dépôts formés par les fontaines incrustantes du Puy-de-Dôme, qui possèdent la texture fibreuse, parmi les chaux carbonatées fibreuses. La chaux carbonatée fibreuse étant formée par un grand nombre de fibres accolées les unes à côté des autres ; lorsque les fibres sont déliées, ce qui arrive le plus souvent, elle prend un aspect soyeux et plus ou moins nacré. »

Les sédiments et dépôts dont nous avons à nous occuper, sont des dépôts chimiques et organiques ordinairement classés dans les roches exogènes ou d'origine sédimentaire. Ils comprennent les travertins, les tufs (calcaires dus à des sources calcifiantes), les bitumes, etc.

M. L.-M. Granderye dit que le travertin est un calcaire compact, parfois siliceux, à nombreuses cavités, provenant des sources incrustantes, tandis que le tuf calcaire est une roche légère à grandes cavités, ressemblant à une éponge, à parois écailleuses feuilletées, formées par les sources incrustantes peu abondantes (formation par suintements).

A Gimeaux, nous avons constaté que la même source peut donner un dépôt très dur et un très tendre et spongieux ; cette dureté dépend uniquement des conditions de la formation de ce dépôt.

Une source qui, avant son arrivée sur les escaliers à incrustations, donne une masse légère et spongieuse, forme sur les moules un dépôt très dur.

L'incrustation ou fausse pétrification s'appelle pseudomorphose, car on désigne sous ce nom certaines formes qu'affectent les minéraux et qui leur sont complètement étrangères.

Les bitumes, malthes, pétroles, asphaltes, schistes bitumineux, sont classés dans les combustibles minéraux des dépôts organiques.

7° Incrustations (Pétrifications)

Les sédiments déposés par les eaux minérales sont utilisés dans une industrie bien auvergnate, celle de la préparation des incrustations dénommées Pétrifications, qui affectent deux formes différentes : menus objets recouverts d'une couche de dépôt ou plaquettes obtenues dans des moules.

Voyons comment l'on obtient ces incrustations :

A Gimeaux, à Saint-Allyre (Clermont) et à Saint-Nectaire, l'eau utilisée pour la préparation des incrustations fait un parcours plus ou moins long, suivant les sources, dans des canaux à l'air libre (Gimeaux, St-Allyre) ou des galeries aérées (St-Nectaire). Ces canaux sont remplis de copeaux de bois, puis ensuite de pierres poreuses ou volcaniques (Gimeaux et St-Allyre), qui épurent l'eau de son fer, silice, phosphate et d'un peu de carbonate terreux.

L'eau est ensuite dirigée sur des escaliers en bois où elle tombe en cascade sur les objets déposés qui se recouvrent, en une quinzaine de jours ou plus, d'une couche de carbonate de chaux non cristallisé, si c'est de menus objets (fruits, oiseaux, etc.) mis à la partie supérieure ; ou au contraire de carbonate de chaux cristallisé aragonique sur tout ce qui se fait dans des moules (médailleurs, bas reliefs, etc.) qui restent de un à trois mois sous l'action de l'eau.

Ces moules sont préparés par compression de la gutta-percha ramollie par la chaleur, sur des galvanos représentant en relief les sujets à reproduire.

Les incrustations obtenues en haut de l'escalier ont une teinte jaune plus ou moins foncée (due à l'oxyde de fer) que celles des degrés inférieurs et sont également moins dures. Aussi, les moules sont d'abord placés (suivant le sujet à reproduire) dans la partie la plus éloignée où le dépôt est le plus dur et le plus blanc, puis ensuite changés de place et retournés journellement, pour qu'il se forme à leur surface un dépôt d'un centimètre environ. La couche de calcaire entoure alors complètement le moule ; on casse, avec une hachette, la partie de dessous inutilisable, puis on place le tout dans de l'eau tiède qui ramollit la gutta-percha qu'on enlève facilement. On a la plaquette ou bas relief que l'on monte en tableau, coffret, etc.

Ces incrustations présentent dans leur épaisseur une première couche très blanche formée sur les moules et une deuxième couche grisâtre qui est la dernière produite.

En hiver, les incrustations ont une teinte brunâtre et sont moins dures qu'en été.

A Gimeaux (voir page 48), l'eau est utilisée dans deux établissements appartenant à la commune, dont le plus important est situé à droite de la route de Gimeaux à Prompsat, l'autre en contre-bas à gauche et en face du premier est alimenté par les mêmes eaux. L'eau fait un parcours de 300 mètres dans des canaux voûtés, creusés dans les travertins, puis dans des canaux à l'air libre et arrive sur six escaliers d'une inclinaison de 50 à 60 degrés, d'une hauteur de 14 mètres environ. Un septième escalier est alimenté par la petite source située au-dessus de l'établissement.

En arrière de ces escaliers existe une vaste grotte de six mètres de longueur, cinq mètres de profondeur et quatre mètres de hauteur environ, formée anciennement par les dépôts des eaux.

A Gimeaux, les incrustations sont exclusivement obtenues dans des moules en gutta-percha.

Lefort dit que les incrustations de Gimeaux sont plus dures et plus blanches que celles de Saint-Allyre et Saint-Nectaire, parce qu'elles se forment plus lentement et que celles de ces dernières sources ont une teinte blanc grisâtre. Cette affirmation de Lefort est inexacte, car nous avons pu comparer celles de ces diverses sources, sans observer aucune différence ; la couleur et la dureté provenant, ainsi que nous l'avons dit, uniquement de l'emplacement occupé par le moule.

M. Truchot qui a analysé l'eau de la source Principale à l'arrivée, après l'épuration et après avoir incrusté, a trouvé une composition presque identique, sauf pour l'acide carbonique et la chaux réduits de plus de moitié et seulement des traces de fer au lieu de 0 gr. 008 de protoxyde de fer, la proportion des autres éléments varie peu. Il n'y a plus d'acide carbonique libre après l'incrustation.

Lefort a donné l'analyse comparative, pour cent parties, des diverses incrustations :

	St-Allyre	St-Nectaire	Gimeaux
Carbonate de chaux.....	88,76	87,54	89,93
Carbonate de magnésie.....	00,17	00,42	00,16
Carbonate de strontiane.....	00,08	00,01	00,03
Sulfate de chaux.....	00,10	00,13	00,08
Oxyde de fer.....	00,09	00,06	00,02
Silice, alumine.....	traces	traces	traces
Chlorure de magnésium.....	traces	traces	traces
Eau et matières organiques.....	10,80	11,81	09,78

A *Clermont-Ferrand*, deux établissements servent aux incrustations (voir page 56) :

1° A la « Fontaine pétrifiante du Pont-Naturel » appartenant à M. Gérin, trois sources sont utilisées. L'eau de la grande source est conduite par une rigole d'une longueur de 70 mètres et les deux autres par des canaux d'une longueur moindre dans plusieurs grottes où l'on prépare des menus objets (fruits, oiseaux etc.), des animaux et des plaquettes.

Ces sources ont formé de puissants travertins et trois ponts sur la Tirétaine. Le pont supérieur, terminé récemment, a une arcade fort élevée. Le pont du milieu, large de huit mètres, de niveau avec le sol, a été déposé par une source qui n'existe plus. Le pont inférieur ou pont Naturel, pont du Diable, est le plus considérable ; il a été commencé il y a plus de 400 ans ; d'après M. Nivet, il a 5 m. 50 de largeur, 5 mètres de hauteur et 10 mètres de longueur et se termine par un aqueduc de travertins de 85 mètres de longueur, jusqu'à la rue des Chats (du Pont-Naturel) ; il a démontré qu'il a été formé par les eaux de la fontaine St-Arthème et que les autres travertins ont été abandonnés par diverses sources.

M. Girardin, qui a analysé les travertins (page 28) formant les deux derniers ponts, conclut que l'eau de la grande source n'a pas toujours été la même.

Nivet dit que les incrustations déposées par les sources minérales renferment des quantités notables de sulfate de chaux et quelques-unes de ces eaux contiennent à peine des traces de sulfate de chaux (St-Allyre) ;

2° Aux « Grottes du Pérou », M. Clémentel se sert de la différence du niveau d'émergence de ses sources à son éta-

blissement, pour faire remonter l'eau au-dessus de grottes artificielles et d'escaliers sur lesquels sont placés les objets à incruster.

Le canal d'épuration des deux sources employées a 30 mètres de longueur, et la hauteur de chute est de 9 mètres.

M. Truchot a analysé également l'eau des sources St-Pierre, St-Allyre ou des bains, Saint-Arthème et de l'enclos Sainte-Claire, à son arrivée aux deux établissements d'incrustations de St-Allyre, après l'épuration et après l'incrustation. Il a obtenu les mêmes résultats qu'à Gimeaux.

A Saint-Nectaire (voir page 67). — Les eaux incrustantes ont relativement peu de carbonate de chaux, presque moitié que celles de St-Allyre ou Gimeaux, mais elles déposent leur calcaire avec une remarquable facilité, même dans les galeries. Les canaux d'épuration sont moins longs, car les eaux sont plus incrustantes.

M. Papon possède trois établissements dont l'un, situé près de la Poste, est très bien installé ; l'eau descend d'une hauteur de 18 mètres sur quatre escaliers disposés en trois gradins. Les nombreuses galeries sont creusées dans le granit avec puits d'aération.

Il existe un quatrième établissement d'incrustations.

8° Corps retenus dans les précipitations

L'observation suivante de M. Grandeau vient à l'appui de notre étude sur les sédiments et dépôts :

« On sait, depuis les belles observations de M. Chevreul, qu'en précipitant une matière au sein d'une liqueur tenant des sels en dissolution, il y a, par entraînement mécanique, par suite de l'affinité capillaire, pour me servir de l'heureuse expression de M. Chevreul, emprisonnement dans le précipité des sels dissous dans l'eau ; l'analyse spectrale nous fournit une preuve directe et des plus concluantes des faits si bien observés par l'illustre professeur du Muséum. Je me suis assuré, en examinant fréquemment dans le cours des lavages à l'eau bouillante, un précipité d'alumine (ou de silice) par exemple, obtenu dans un liquide contenant de faibles quantités de lithine, que les lavages, quelque temps qu'on les prolonge, n'arrivent pas à enlever complètement cette dernière substance ; la raie $\text{Li } \alpha$ persiste après plusieurs jours de contact du précipité avec de l'eau constamment renouvelée. Il en est de même pour la chaux, la potasse, etc... En effet, dans l'analyse du même mélange, l'alumine séparée par le procédé de M. H. Sainte-Claire Deville (fondé sur l'emploi exclusif de réactifs volatils ou complètement fixes et sur la suppression, dans tous les cas où cela est possible, des précipitations au sein des liquides), et l'alumine obtenue par précipitation à l'aide de l'ammoniaque, toutes choses égales d'ailleurs, se trouvent à des degrés de pureté très différents, comme il est aisé de s'en convaincre à l'aide du spectroscope. Tandis que la première ne donne absolument aucun spectre, la seconde présente les raies de la chaux, de la potasse, ou de la lithine, suivant les matières d'où elle provient. »

C'est bien une précipitation des sels, qui se forme par le départ de l'acide carbonique de l'eau minérale en arrivant à l'air et ce précipité doit certainement contenir, d'après ce qui précède, les matières de l'eau elle-même, comme l'indique M. Grandeau.

CHAPITRE II

ANALYSE SPECTROSCOPIQUE

1° Sensibilité de la méthode spectroscopique

Les corps simples étant caractérisés par des raies définies, il suffit d'examiner le spectre d'une substance pour en connaître la nature de éléments. C'est la méthode d'analyse spectroscopique.

Elle est d'une très grande précision et permet de rechercher de faibles quantités d'un métal dans un mélange d'autres métaux. Bunsen et Kirchhoff, en faisant détoner à l'extrémité d'une pièce de 60 mètres cubes, un mélange de trois milligrammes de chlorate de soude et de sucre de lait, virent se colorer en jaune une flamme de gaz placée à l'autre bout de la pièce et cette coloration persista dix minutes. Or, on calcule qu'il ne passe pas plus de un demi millionième de milligramme de sel dans les 50 c. c. d'air qui traversent le bec Bunsen dans une seconde.

Bunsen et Kirchhoff ont indiqué, en milligrammes, les quantités minima suivantes de diverses substances, qui suffisent à déceler leur présence dans le spectre :

Cs = 1 : 25.000 ; Rb = 1 : 7.000 ; K = 1 : 3.000 ;

Na = 1 : 14.000.000 ; Li = 1 : 60.000 ; Ba = 1 : 2.000 ;

Sr = 1 : 30.000 ; Ca = 1 : 50.000 ;

Tl (d'après Lamy) = 1 : 50.000 ; Cu (d'après Simmler) = 1 : 285.

La sensibilité de cette méthode est considérablement accrue si l'on remplace la flamme du gaz par l'étincelle d'une bobine d'induction.

L'analyse spectrale est surtout utilisée pour les métaux alcalins et alcalino-terreux, car avec les autres, il faut une source de chaleur plus intense, telle que celle de l'étincelle électrique ou de l'arc voltaïque. Le nombre des raies brillantes est plus grand, le spectre plus complexe.

Les métalloïdes ont également des spectres caractérisés par un certain nombre de raies.

2° Précautions à prendre dans les recherches spectroscopiques

Voici, d'après divers auteurs (Lecoq de Boisbaudran, Salet, Ch. de Watteville, etc.), les précautions à prendre pour faire utilement des recherches spectroscopiques ; ce sont celles que nous avons suivies dans notre travail.

Il faut opérer dans une chambre noire, peinte en noir avec une fenêtre pour faire de la ventilation et placer le spectroscope sur une table également peinte en noir. On doit être éclairé très faiblement, juste assez pour noter sur le papier les positions des raies observées. L'œil ne doit voir aucune flamme à la hauteur de l'instrument. Comme il faut se servir de la lumière monochromatique et que nous n'avons pas le gaz à notre disposition, nous avons employé un genre d'Eolipyle.

C'est un brûleur de lampe à éclairage par l'alcool, composé d'un réservoir contenant l'alcool à brûler, dans lequel plongent quatre grosses mèches de coton conduisant par capillarité l'alcool dans une petite chaudière située au-dessus. Cette chaudière est chauffée par une petite lampe à alcool, dont la mèche trempe dans le même récipient que les quatre précédentes et dont on peut régler l'intensité par un bouton à vis.

On allume la petite lampe, qui doit chauffer l'évaporateur cinq minutes environ, avant de mettre le feu au brûleur. Si le gaz n'arrive pas en quantité suffisante, le bec vacille et s'éteint, il suffit d'attendre quelques minutes avant d'allumer ; s'il arrive au contraire en trop grande abondance, la marche est irrégulière, dans ce cas on diminue la flamme de la lampe à alcool au moyen du bouton à vis. On entoure d'un cône en fer le bas de la flamme pour la rendre plus stable. La lampe devra brûler avec un cône bleu.

On sait qu'on trouve dans la flamme deux régions principales : le cône intérieur, flamme réductrice ou noyau et la flamme proprement dite qui, extérieure à la précédente, l'enveloppe et s'y raccorde à l'orifice du brûleur, elle est oxydante par suite de la présence de l'air qui s'y trouve en excès. Le fil de platine sera porté dans la zone extérieure en le faisant passer à travers la flamme chaude. Dans ces conditions, l'essai atteindra la température la plus haute possible et les bandes seront bien visibles, surtout si l'on place tan-

gentiellement l'axe du collimateur, de façon à voir la zone colorée sous une grande épaisseur et pour éviter le spectre spécial de la partie intérieure.

Pour charger la flamme d'une grande quantité de vapeurs, Lecoq de Boisbaudran prend un fil de platine fin de 2 à 4 dixièmes de millimètre de diamètre ; il forme sur le fil plusieurs boucles voisines et dispose la ligne horizontale des fils parallèlement à l'axe du collimateur. Nous avons employé du fil de platine de 2/10 de millimètre de diamètre.

Salet dit que pour observer avec assez d'éclat les spectres des chlorures alcalino-terreux et surtout celui du baryum, il faut prendre un fil fin et peu de substance.

On se sert pour supporter les fils d'un pied à tige verticale sur laquelle glisseront des pinces en bois à ressort fortes ; chacune de ces pinces portera un bout de tringle horizontale qui soutiendra les tubes de verre où seront soudés les fils de platine. Ces pinces, d'un usage très pratique, peuvent être facilement élevées ou enlevées lorsqu'on les serre entre les doigts.

Le fil doit se trouver plus bas que la fente, afin de ne pas introduire le spectre du platine incandescent.

Il est utile de vérifier d'abord l'état de propreté du fil de platine, ce qui peut se faire en le plongeant dans l'acide chlorhydrique pur et le chauffant ensuite ; on trouve ainsi souvent des traces de calcium, de cuivre et d'autres métaux. Certaines substances pénètrent si bien dans le fil qu'il devient impossible de le nettoyer, même par le bisulfate de potasse fondu. D'autres sels le rendent cassant. Il est prudent de changer ces fils assez souvent.

Il est utile d'avoir, pour les comparaisons, des solutions types de chlorures alcalins et alcalino-terreux.

On peut déceler dans des substances relativement fixes (chlorures de baryum, de strontium, de calcium, etc.), la présence de corps plus volatils, tels que potassium, sodium, césium, rubidium, thallium, indium, etc., même à l'état de faibles traces, en prenant la précaution de chauffer graduellement ; les raies de ces métaux apparaissent les premières.

Lorsqu'on examine une substance facile à décomposer, ou si l'on n'a imbibé le fil que d'une petite quantité de matière, la coloration de la flamme n'apparaît que sur une petite hauteur ; il faut alors avoir soin de viser à une très petite distance du fil.

Il y a avantage à dessécher certains chlorures sur le fil avant de les introduire dans la flamme.

Ch. de Watteville emploie les solutions de chlorures aussi concentrées que possible, pas assez cependant pour amener la cristallisation du sel au cours de l'opération. Dans ce cas, on y remédie par une légère addition d'eau distillée chaude. Il dit que la concentration de la liqueur a une grande importance, l'intensité des raies en dépend, certaines d'entre elles peuvent même devenir complètement invisibles, faute d'une teneur du liquide suffisante en sel. Exemple pour le lithium qui est très visible dans une solution riche en chlorure de ce métal.

Même sans avoir l'intention de mesurer un spectre, on doit s'attacher à reporter sur un morceau de papier divisé, la situation et l'intensité approchée de toutes les raies ou bandes observées. Il importe de conserver la trace de l'observation complète ; les comparaisons avec les planches gravées ou les tables numériques ne se font qu'ensuite et d'après le dessin. Pour n'omettre aucun détail, on divise le spectre en sections et on reproduit ce qu'on voit de 0 à 10, de 10 à 20, de 20 à 30, etc., sans négliger les raies étrangères qu'on sait provenir du gaz, des poussières, etc. ; elles serviront de points de comparaison et seront éliminées plus tard dans les conclusions à tirer de l'examen spectral. A cet égard les spectres du dard bleu du chalumeau, de la soude et de la chaux doivent être étudiés tout d'abord, car on les retrouve très souvent dans les spectres des flammes.

Lecoq de Boisbaudran dit qu'il peut arriver que l'on obtienne, avec le spectre étudié, celui qui appartient à la source calorifique employée. Cependant, on ne voit généralement qu'une partie de ces raies et avec une faible intensité. Mais il peut être utile de consulter les spectres de ces sources, ainsi que ceux des métaux très répandus comme le potassium, le sodium, le calcium, le magnésium, le fer, le cuivre, le plomb, etc. Ainsi, la raie jaune du sodium empêche souvent d'apercevoir d'autres raies très voisines.

Il peut être utile quelquefois de se reporter au spectre du platine. Les becs de cuivre ne donnent pas non plus, en général, les raies de ce métal ; cependant, pour les recherches délicates, les becs de verre sont évidemment préférables.

Ch. de Watteville, cite que certains des spectres de lignes sont, dans la flamme, accompagnés, pour quelques métaux, de spectres de bandes plus ou moins compliqués ; c'est ce

qui a lieu pour le magnésium, le baryum, le strontium, le calcium, le cuivre, l'étain, le manganèse.

Il est bon de placer l'œil à la lunette avant de pousser le fil dans la flamme, surtout pour les substances très volatiles, car le sel métallique s'évapore rapidement.

Il est nécessaire d'allonger ou de raccourcir la lunette oculaire pour examiner les raies de réfrangibilité très diverse.

3° Spectroscope employé dans nos recherches

Nous avons fait construire par M. Ph. Pellin, un spectroscope à vision directe, à prismes d'Amici, à grande dispersion.

Le prisme est composé d'un flint de densité 5,004 compris entre deux crowns de densité 2,520. L'indice pour la raie D étant pour le flint de 1,7784 et celui du crown 1,5132.

Le collimateur et l'objectif sont formés de lentilles achromatiques flint et crown.

L'oculaire à bascule au moyen d'un excentrique, composé de deux lentilles en crown, nous permet d'observer distinctement le spectre sur une grande étendue.

Le micromètre a 120 divisions, placé à l'oculaire, et se déplaçant avec lui, nous facilite le repérage des raies. La fente peut s'ouvrir et se fermer par un bouton à vis. Le pied à coulisse sert à exhausser le spectroscope.

4° Graduation de notre spectroscope

Deux spectroscopes ne donnent des indications concordantes que par l'intermédiaire de courbes ou de tables dressées pour chaque appareil et rapportant les lectures de l'échelle à une commune mesure : la longueur d'onde caractéristique de chaque raie.

Nous avons pris, pour tracer la courbe, une feuille de papier quadrillé au millimètre, on trace les divisions du micromètre selon une ligne horizontale, sur une ligne verticale on dresse l'échelle des longueurs d'onde de 390 à 795. On fait coïncider la raie D du sodium avec la division 40 du micromètre et l'on cherche expérimentalement à quelles divisions du micromètre tombent certaines raies bien caractérisées (K, Li, Tl, Sr), puis on regarde dans les tables de Thalén, ou d'autres auteurs, les longueurs d'onde correspondant à chaque raie enregistrée et on les reporte sur l'échelle verticale. On indique par une croix l'intersection de la ligne hori-

zontale et de la ligne verticale correspondant à la longueur d'onde et à la position d'une raie donnée, on réunit par un trait continu les points ainsi obtenus (voir planche II, page 43). Chaque point de cette courbe correspondra, dans le sens horizontal, à une division du micromètre du spectroscope, et, dans le sens vertical, à une longueur d'onde.

Pour les bandes du strontium, du calcium et du bore, la division indiquée du micromètre est celle du milieu de chaque bande observée.

5° Intensités relatives des raies

Voici l'échelle adoptée par M. de Grammont, en commençant par les maxima ; elle est presque semblable à celle de M. Lecoq de Boisbaudran.

Intense.	Bien visible.
Très forte.	Assez bien visible.
Forte.	Faible.
Assez forte.	Très faible.
Très bien marquée.	A peine visible.
Bien marquée.	Douteuse.
Assez bien marquée.	

A titre d'indication et variant suivant les observateurs.

Les caractères des raies méritant une attention spéciale, sont :

Brillante.	Large.
Vive.	Diffuse.
Nette.	Nébuleuse.
Fine.	Bande.

Encore plus que les évaluations d'intensité, ces observations ont un caractère relatif.

Aussi, pour plus de précision, dans la désignation des intensités relatives des raies, emploierons-nous la notation de 1 à 10, 1 étant l'intensité minima d'une raie ou bande observée.

6° Mode opératoire employé dans l'étude des Sédiments et Dépôts

Avant de procéder à l'examen spectroscopique, nous avons soumis nos sédiments et dépôts aux opérations suivantes :

- 1° Calciner pour détruire les matières organiques ;
- 2° Dissoudre le résidu dans l'acide chlorhydrique pur, pour transformer les sels en chlorures.

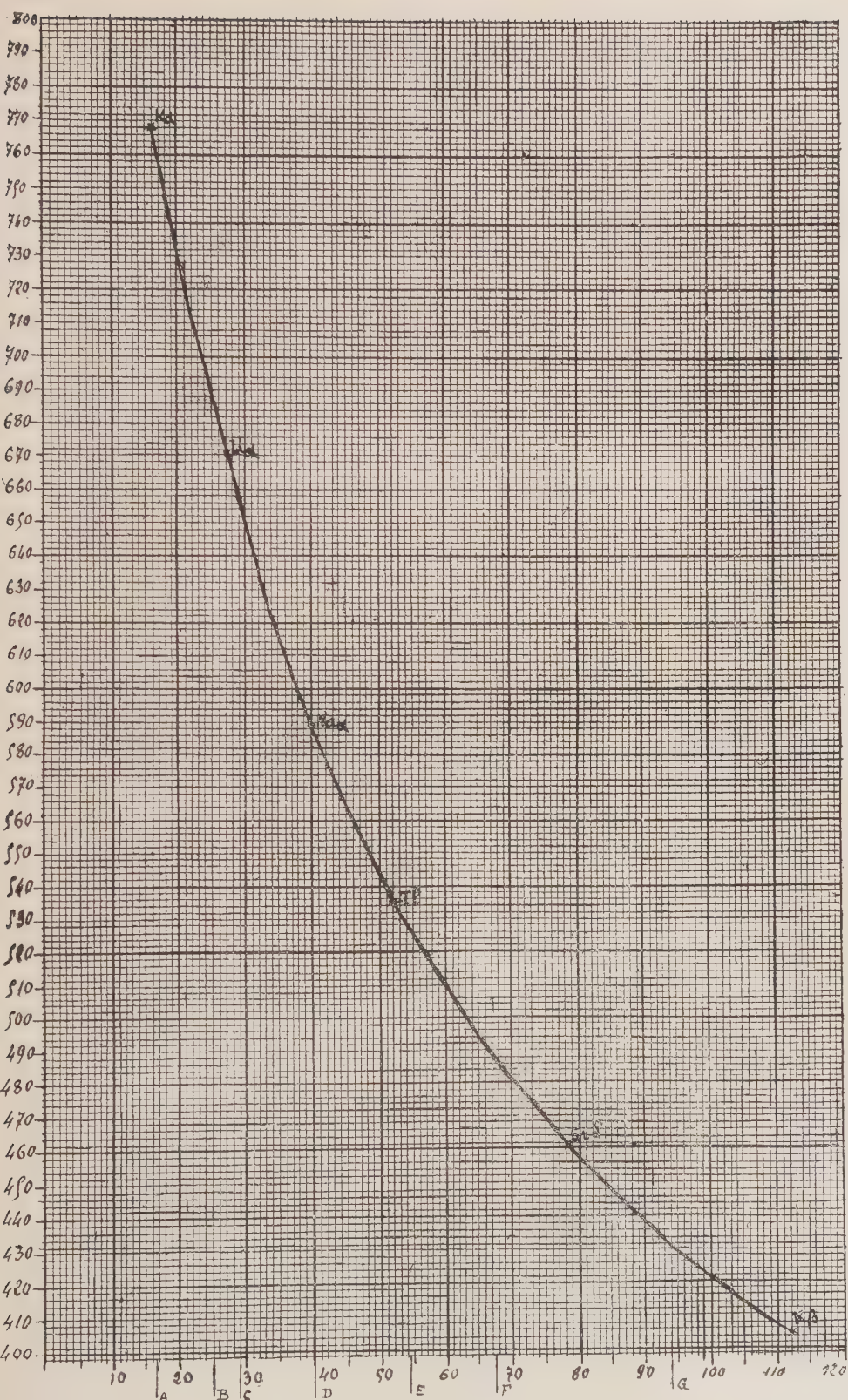


Planche II - Courbe des Longueurs d'onde.

CHAPITRE III

ÉTUDE DES SOURCES QUI ABANDONNENT des SÉDIMENTS et DÉPOTS

Les nombreuses sources de la Limagne, que nous avons visitées, laissent presque toutes déposer des sédiments, mais ce dépôt est plus ou moins abondant. Ceux des cinquante sources suivantes, seulement, méritent d'être étudiés :

Rouzat (2), Gimeaux (3), Prompsat (2), Châtelguyon (3), Loubeyrat (4), Médagues (3), Cébazat (S. de la Poix), Clermont-Ferrand (4 sources et S. du Puy de la Poix), Chama-lières (S. des Roches), Royat (4), Saint-Martial (4), Sainte-Marguerite (1), Saint-Nectaire (7), Saint-Floret (3), Saurier (2), Bard (1), Madriat (1), Barrège (1), Chabetout (2).

Le Docteur Boucomont a donné une classification des eaux minérales d'Auvergne, dont nous avons parlé, c'est celle adoptée par M. Truchot avec quelques légères modifications dans le classement de certaines sources.

D'autres auteurs ont choisi un groupement suivant les régions auxquelles appartiennent les eaux.

Pour l'étude de nos sédiments et dépôts, nous diviserons nos eaux minérales, comme la Limagne elle-même, en trois régions (de Riom, de Clermont, d'Issoire), que nous étudierons successivement.

Presque toutes ces sources (sauf Médagues, Saint-Martial et Sainte-Marguerite) sont situées, comme nous l'avons vu, sur la rive gauche de l'Allier, à la limite de la plaine et de la montagne, au point où le tertiaire vient buter contre le massif rocheux de la chaîne des Puys, sur les failles limites de la Limagne.

A
Limagne
de Riom : { 1° Rouzat, 2° Gimeaux, 3° Prompsat,
4° Châtelguyon, 5° Loubeyrat, 6° Mé-
dagues.

B
Limagne
de Clermont : { 1° Cébazat, 2° Clermont-Ferrand, 3° Cha-
malières, 4° Royat, 5° Saint-Martial,
6° Sainte-Marguerite.

C
Limagne
d'Issoire : { 1° Saint-Nectaire, 2° Saint-Floret, 3° Sau-
rier, 4° Bard, 5° Madriat, 6° Barrège,
7° Chabetout.

A. — LIMAGNE DE RIOM

1° Rouzat (Beauregard-Vendon)

Cette station thermale est située à 7 kilomètres de Riom, sur le versant Est de la chaîne des Monts Dômes, à une altitude de 400 mètres, dans une région où l'on ne rencontre pas d'eau potable, mais plusieurs sources minérales et des dégagements d'acide carbonique.

Les sources sortent des travertins calcaires qui reposent eux-mêmes sur un porphyre quartzifère (Lefort).

M. Truchot donne l'analyse de quatre sources, mais deux seulement sont actuellement utilisées pour le service de l'établissement de bains de M. Terrade :

1° La source du Grand Puits s'échappe d'un puits de sept mètres de profondeur et de deux mètres de diamètre, dans lequel on a découvert de nombreux débris d'origine romaine, dont quelques-uns sont conservés. L'eau est trouble, d'une saveur saumâtre, alcalinescente et dégage beaucoup d'acide carbonique. D'une densité de 1,0026, d'une température de 32° et d'un débit énorme de 300.000 litres par jour, elle alimente l'établissement. Elle a été analysée par de nombreux chimistes : MM. O. Henry (1846), Nivet, Pelouze, Girard, Lefort, puis Terreil (1862) ;

2° La source Lacaze ou des Vignes, analysée par M. Terreil (1862), sort à une centaine de mètres de l'établissement, à une température de 13° à 14°. Cette eau, d'une densité de 1,0038, limpide, incolore, d'un goût acidulé, agréable, est employée en boisson et exportée.

Ces eaux gazeuses, salines, alcalines et ferrugineuses, se recouvrent d'une pellicule irisée lorsqu'elles sont exposées à l'air et produisent des conferves vertes déterminées par MM. Decaisne et Héribaud. Elles sont très incrustantes et ont été utilisées anciennement par M. Moneyron, pour préparer des incrustations ; M. Terrade a bien voulu nous en montrer quelques-unes qui sont très blanches, très fines et très dures.

Notre prélèvement de dépôts a été fait : 1° pour la source du Grand Puits, dans le canal d'écoulement des eaux à l'air

libre ; après avoir traversé la route, ce canal de 200 mètres servait autrefois à l'établissement d'incrustations ; 2° pour la source Lacaze, en plusieurs endroits, le long du fossé d'évacuation des eaux, avant l'arrivée dans un petit bassin où l'eau est recouverte de nombreuses characées formant un tapis épais de verdure dont les rhizoïdes et la partie inférieure des tiges sont incrustés.

Dans l'analyse des dépôts de ces deux sources, M. Terreil (1862) indique les métaux suivants : calcium, sels alcalins solubles (magnésie et fer).

Nous avons trouvé par l'analyse spectrale :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	5 } pour les 2 sources.
	412	404,5	3 }
<i>Sodium</i>	40	589,2	9 dans la S. Grand puits.
	id.	id.	8 dans la S. Lacaze
<i>Lithium</i>	27	670,7	7
<i>Strontium</i>	29	659,7	7 { pour les 2 sources.
	37	604,5	8 }
	78.5	460,7	6
<i>Calcium</i> ..	34	622	9 dans la S. Grand puits.
	id.	id.	10 dans la S. Lacaze.
	48	553	8 dans la S. Grand puits.
	id.	id.	9 dans la S. Lacaze.
	98	422,6	1 dans la S. Grand puits.
	id.	id.	2 dans la S. Lacaze.

2° Gimeaux

Comme à Rouzat, il n'y a pas d'eau potable, mais d'abondantes sources minérales qui ont formé d'énormes dépôts. On cite : la Grande source, qui s'échappe à une température de 24° à 25°, ainsi que la source de la Vigne, presque froide, qui sont utilisées pour la préparation des incrustations (voir page 32), la petite source de la Route, inutilisée ; celle du Ruisseau, qui sort à la température de 20° 4, sur la rive gauche du ruisseau à la limite des communes de Gimeaux et

Prompsat ; enfin, la source du Ceix, sur le chemin de Gimeaux à Rouzat, qui s'écoule à la température de 25° 4, était employée autrefois à la préparation des incrustations.

Nos échantillons de dépôts ont été prélevés : 1° pour la Grande source et 2° pour la source de la Vigne, dans les canaux de purification de l'eau ; 3° pour celle de la Ceix, en divers endroits où l'eau s'écoule, à la sortie du canal qui traverse le chemin et près des travertins.

M. Truchot (1877), qui a analysé ces sources, indique comme métaux trouvés dans ces eaux :

Calcium, strontium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

L'analyse spectroscopique a donné les raies :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	5
	112	404,5	4
<i>Sodium</i>	40	589,2	8
<i>Lithium</i> ...	27	670,7	7
<i>Strontium</i>	29	659,7	7
	37	604,5	9
	78,5	460,7	6
<i>Calcium</i>	34	622	9
	48	553	8
	98	422,6	2

Pour
les trois sources

3° Prompsat

M. Truchot cite seulement la source sur le bord du chemin de Gimeaux, sur la rive droite du ruisseau. Il y a d'autres sources que la précédente et l'on remarque dans le lit du cours d'eau des dépôts ocracés. L'on trouve : 1° la source du Creux qui sort à environ cinquante mètres du chemin allant à Montaclier, elle n'a pas été analysée et est inutilisée ; 2° la source Debord jaillit à la température de 15° 8, elle a cette légère odeur d'acide sulfhydrique et de bitume spéciale aux eaux de la Limagne.

Nos prélèvements ont été effectués : 1° pour la source du

Creux dans le griffon et dans le fossé d'écoulement de l'eau où l'on rencontre des sédiments pierreux ; 2° pour la source Debord, dans la rigole d'évacuation des eaux.

M. Gros (1907) donne pour l'eau de la source Debord : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

L'analyse spectrale a indiqué les métaux :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	4
	112	404,5	3
<i>Sodium</i>	40	589,2	7
<i>Lithium</i>	27	670,7	7
Manque dans la S. Debord			
<i>Strontium</i>	29	659,7	6
Manque dans la S. Debord	37	604,5	7
	78,5	460,7	5
<i>Calcium</i>	34	622	9
	id.	id.	6
	48	553	8
	id.	id.	5
	98	422,6	2
	id.	id.	1

4° Châtelguyon

Les Romains ont utilisé les eaux de Châtelguyon, plus tard, Jean Banc (1605), Duclos (1670), J.-B. Chomel (1713), Guittard, J.-F. Chomel (1734), Cadet (1774), J. Raulin (1774), Legrand d'Aussy (1787), Bué Hoz (1796), Nivet (1844), Chevalier (1859), Gonod, puis Lefort (1864), Truchot (1878), enfin Magnier de la Source et Carnot, en donnèrent des analyses.

Les sources minérales, au nombre de trente et une, s'étendent le long de la vallée du Sardon. M. Caméré (1885) dit que ce sont des eaux d'infiltration du massif granitique qu'arrête et fait jaillir, à la façon artésienne, par les filons de la roche, le barrage miocène qui accompagne la faille terminale de ce massif (qui traverse le Sardon vers le Rocher des Renards).

Il cite le fait que ces eaux sortent généralement au voisinage où la roche est sillonnée de filons d'aragonite et dit que l'on rencontre également des filons d'aragonite ou de quartz, dans lesquels on remarque des traces de pyrite de cuivre. Nous avons trouvé de l'aragonite cuivreuse au bord du Sardon, en face de la source Ravel.

Le Dr Boucomont, en parlant des travertins, dit que « couché sur le sol, on entend, à certains endroits, bouillonner sous l'oreille d'innombrables sources emprisonnées sous ces travertins et qu'il suffit de creuser jusqu'au porphyre pour en faire jaillir l'eau minérale chargée d'acide carbonique. »

M. Caméré distingue trois zones de terrain aquifère : la première environne l'ancien établissement ; la deuxième en amont, à 100 mètres environ ; enfin, la troisième zone se rencontre 200 mètres plus haut que la précédente.

Les sources appartiennent presque toutes à la compagnie et servent aux deux établissements, quelques-unes sont utilisées en buvettes (Yvonne, Devál, Germaine, etc.).

Les sources Mathivat (34°), Ravel (37°), situées en face de l'établissement, sont très fréquentées par les baigneurs et sont exportées par leurs propriétaires ; la source qui sort près du Grand Hôtel est inutilisée.

La température de ces eaux varie entre 20 et 38 degrés, et leur débit est de quatre millions de litres par jour.

Elles ont une composition presque identique, se troublent au contact de l'air et déposent un sédiment plus ou moins ocreux, quelquefois très dur.

Nous avons pris des échantillons des dépôts : 1° de la source Ravel, dans le canal d'écoulement au ruisseau ; 2° de la source Mathivat, sur la vasque ; 3° d'une source près du Grand Hôtel, dans la rigole d'évacuation des eaux.

Nous n'avons pu, à notre grand regret, effectuer les prélèvements des dépôts des sources appartenant à la Compagnie d'exploitation des eaux, car, malgré plusieurs démarches personnelles, cette dernière n'a pas daigné nous y autoriser.

L'eau des deux premières sources contient, d'après les analyses (Ecole des Mines, M. Gros) : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

Nous n'avons pas trouvé l'analyse de la troisième.

Les raies suivantes ont été observées au spectroscope :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	4
	112	404,5	3
<i>Sodium</i>	40	589,2	8
<i>Lithium</i>	27	670,7	8
Manque dans la S. Mathivat. .	id.	id.	6
<i>Strontium</i>	29	659,7	4
Manque dans la S. Mathivat. .	37	604,5	5
	78,5	460,7	3
<i>Calcium</i>	34	622	10
	id.	id.	9
	48	553	9
	id.	id.	8
	98	422,6	2
	id.	id.	1
<i>Cæsium</i>	79	459,7	2
	81	456	2

5° Loubeyrat (Sans-Souci)

Les eaux de Loubeyrat, sont, à Sans-Souci, à 3 kilomètres de Châtelguyon, à droite de la route conduisant à Manzat ; suivre la route, descendre dans le talus à droite, à cent mètres environ avant d'arriver au pont et prendre ensuite un sentier à flanc de coteau qui y conduit directement. Le ruisseau de Romeuf forme, à Sans-Souci, une cascade d'un bel effet. Arrivé à la cascade par le sentier désigné plus haut, il faut remonter le ruisseau, rive gauche, on trouve successivement les quatre sources laxatives dont trois indiquées par M. Truchot, sous les noms de Georget, Galathée, Jouvence.

L'on n'a aucune indication avec les noms cités par M. Truchot.

Nous les indiquerons par les numéros 1, 2, 3, 4, suivant l'ordre où on les rencontre, car il y en a une quatrième qui sort dans un creux près du ruisseau. Elles sont désignées par leurs dépôts ocreux, mais la troisième paraît plus incrustante.

Les sources n^{os} 2 et 3 ont un assez fort débit.

Nous avons pris des échantillons des dépôts de ces eaux près des griffons et dans les rigoles par où elles s'écoulent.

M. Truchot (1877) a trouvé dans les eaux de trois de ces sources : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

L'examen spectroscopique a permis de reconnaître :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	4
	112	404,5	3
<i>Sodium</i>	40	589,2	7
<i>Lithium</i>	27	670,7	7
<i>Strontium</i>	29	659,7	6
	37	604,5	7
	78,5	460,7	5
<i>Calcium</i>	34	622	8
	48	553	7
	98	422,6	2

Pour
les 4 sources

6° Médagues (Joze)

Les eaux de Médagues se trouvent sur la rive droite, dans l'ancien lit de l'Allier, à plus d'un kilomètre de Joze.

L'on rencontre trois sources : 1° Celle de l'Ours ou Gros bouillon, jaillit dans l'établissement d'expédition de l'eau, à la température de 13° 8, avec un débit de 70 litres par minute ; 2° celle des Gravières, à 300 mètres au S.-O. de l'Ours, s'écoule à la température de 13° 8 ; 3° celle du Petit bouillon ou de l'Etoile, sort plus au sud, à une température de 13° 7, avec un débit de 20 à 30 litres par minute.

Une flore salée, déterminée par le Frère Héribaud, croît près de ces sources.

Nos prélèvements ont été effectués au griffon et au canal de remplissage des bouteilles pour la source de l'Ours et pour celles des Gravières et de l'Etoile, dans les fossés d'évacuation de ces eaux.

Les analyses de M. Truchot (1877), indiquent pour les eaux de ces sources : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

Le spectroscopie a indiqué les raies suivantes :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	5)
	112	404,5	4) Dans
<i>Sodium</i>	40	589,2	8) les trois sources
<i>Lithium</i>	27	670,7	7 S. Ours et Gravier.
Manque dans la S. de l'Etoile.			
<i>Strontium</i>	29	659,7	5) Dans les sources
Manque dans la S. de l'Etoile.	37	604,5	6) de l'Ours
	78,5	460,7	4) et des Gravier
<i>Calcium</i>	34	622	9 d. la S. des Gravier.
	id.	id.	8 pour les 2 autres S.
	48	553	8 d. la S. des Gravier.
	id.	id.	7 pour les 2 autres S.
	98	422,6	2 d. la S. des Gravier.
	id.	id.	1 pour les 2 autres S.

B. LIMAGNE DE CLERMONT

1^o Cébazat (Source de la Poix)

Cette source se trouve à droite du chemin allant de Cébazat à Châteaugay, à 200 mètres environ, sur une petite éminence et à 200 mètres également avant d'arriver à la route qui, de Châteaugay, va rejoindre la route nationale.

On rencontre d'abord un filon de basalte N.-S. que M. Glangeaud indique comme représentant une des cheminées du volcan de Châteaugay, puis un deuxième filon parallèle, au pied duquel, à deux mètres en contre-bas, sort une source minérale et des suintements de bitume (voir planche III, fig. 1, page 57). Nous avons observé des pellicules de pétrole, mais pas d'odeur forte d'acide sulfhydrique, comme dans cette dernière source.

La fracture par laquelle elle sort, correspondrait à la faille de Clermont qui donne également des eaux bitumineuses.

Nous avons pris un échantillon du dépôt, dans le creux rempli d'eau minérale, au pied du filon de basalte. Cette eau n'a pas été analysée.

L'analyse spectroscopique indique :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	5
	112	404,5	4
<i>Sodium</i>	40	589,2	9
<i>Strontium</i>	27,5	669,4	3
	29	659,7	3
	37	604,5	4
	78,5	460,7	2
<i>Calcium</i>	34	622	5
	48	553	4
<i>Bore</i>	57,5	519,2	3
	65	494,1	2

2° Clermont-Ferrand

Les sources minérales de Clermont s'étendent sur une grande faille Nord-Sud (d'une longueur de plus de 20 kilomètres d'après Michel Lévy), de Saint-Allyre jusqu'aux Salins, ou, sur une cassure parallèle (sources des Roches et de La Vallière). Cette fracture, parallèle à la grande faille de la Limagne, sépare à l'Ouest (voir planche III, fig. 2, page 57) la partie haute de la ville de la partie basse (Glangeaud).

L'on rencontre d'épais travertins sous la place de Jaude et la rue Blatin, et le sous-sol est complètement imprégné d'acide carbonique.

Lefort indique treize sources, Truchot en nomme vingt, et on en cite actuellement vingt-deux. Truchot dit que l'état des sources minérales doit varier de temps en temps, car il n'a pas retrouvé les mêmes que M. Nivet en 1846, de nouvelles surgissent et il en disparaît d'anciennes.

C'est ce que nous avons également constaté, plusieurs de celles indiquées par Truchot n'existent plus (Jaude, de la rue Ste-Claire, etc.), il y en a de nouvelles (Grassion, La Vallière).

Nous diviserons les sources en quatre groupes (voir pour le détail le Dictionnaire des eaux minérales de M. Truchot).

1° *Quartier des Salins*. — Les sources des Salins, du Puits artésien (120 mètres), Grassion (6°), etc., et, plus haut, vers Chamalières, la source La Vallière.

2° *Quartiers Fontgève, Sainte-Claire*. — Les sources Bel-louf, Saint-Remy, Saint-Joseph, etc.

3° *Quartier Saint-Allyre*. — On y rencontre les sources de la rue des Chats (Pont-Naturel), Saint-Pierre, Blaise Pascal, Saint-Allyre et des Bains réunis, Saint-Arthème, de l'enclos Sainte-Claire, etc.

Les sources de Saint-Allyre ont été l'objet de nombreux travaux : Duclos et Raulin, Lemery (1700), Ozyon (1748), Vauquelin (1799), Berzélius (1825), Lecoq (1831), Girardin (1837), Nivet (1846), Lefort (1863), puis Truchot (1878), ont analysé ces eaux ou leurs travertins.

Toutes ces sources sont froides (19° à 28°), gazeuses, ferrugineuses, bicarbonatées, chlorurées ; l'abondance du chlorure de sodium fait croître vers l'émergence de quelques sources une florule marine (déterminée par le Frère Héri-baud). La source Grassion renferme du bicarbonate d'ammoniaque (0 gr. 027), une forte dose de bicarbonate de soude

Planche III

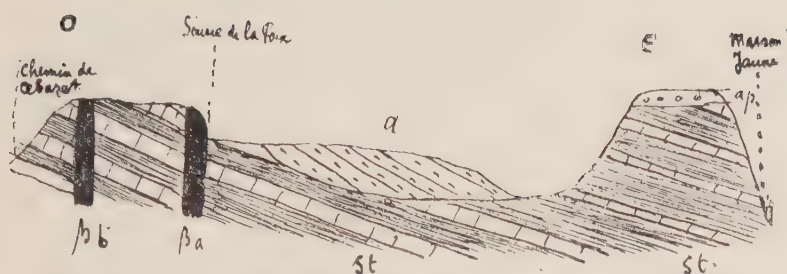


Fig. 1. — Coupe E-O au pied (Venant méridional) de la colline de Chateaugay.
d'après Th. Glangeaud (Régions volcaniques du P. d. D. page 46)

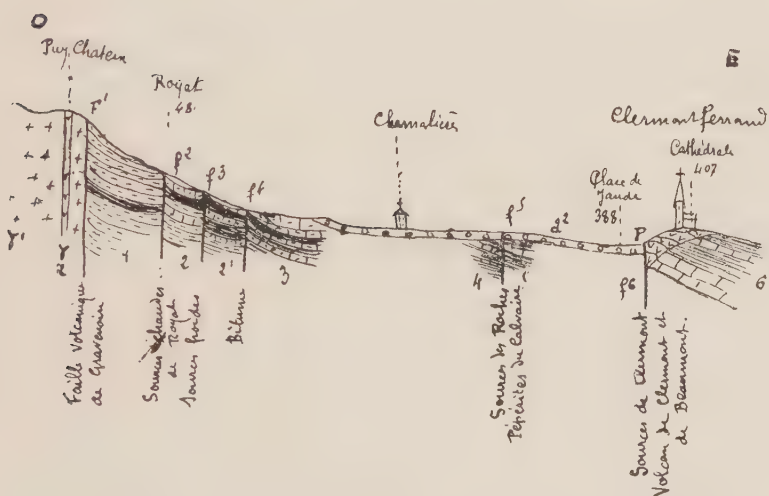


Fig. 2. — Coupe S.O, N.E du Bord occidental de la Limagne,
de Royat à Clermont. L. 50000°, H. 20.000°
d'après Ph. Glangeaud (Régions volcaniques du P. d. D. p. 73)

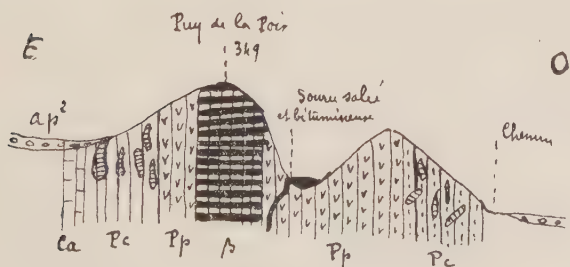


Fig. 3. — Coupe E-O. à travers le Puy de la Foix
d'après Ph. Glangeaud (Régions volcaniques du P. d. D. page 81)

(5 gr. 082) et un peu de bitume, ainsi que celle de La Val-
lière, ce qui les différencie des autres.

4° La source du Puy de la Poix que nous étudierons sépa-
rément.

Nous avons prélevé les échantillons des dépôts des sources
suivantes :

1° Pour la source des Salins et 2° au Puits artésien, près des
robinets d'écoulement de l'eau et sur les bassins ; 3° à la
source Saint-Allyre et des Bains, et 4° à la source Saint-Ar-
thème, dans les canaux conduisant l'eau aux incrustations,
avant la purification (voir pages 33 et 34).

M. Truchot (1877) qui a analysé ces eaux, cite : calcium,
strontium, lithium, sodium, potassium (magnésium, fer et
manganèse).

L'analyse spectrale a donné les raies :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16 112	768 404,05	3) 2) pour les 4 sources.
<i>Sodium</i>	40 id.	589,2 id.	8 pour S. St-Allyre et des Bains. 6 pour les 3 autres S.
<i>Lithium</i>	27	670,7	6 pour les 3 autres S.
Manque la S. Puits artésien			
<i>Strontium</i>	29 id.	659,7 id.	7 p. S. Saint-Allyre et des Bains. 6 dans les deux autres S.
Manque la S. Puits artésien			
	37 id.	604,5 id.	8 p. S. St-Allyre et des Bains. 7 dans les deux autres S.
	78,5 id.	460,7 id.	6 p. S. St-Allyre et des Bains. 5 dans les 2 autres S.
<i>Calcium</i>	34 id.	622 id.	9 p. S. St-Allyre et des Bains. 8 dans les 3 autres S.
	48 id.	553 id.	8 p. S. St-Allyre et des Bains. 7 dans les 3 autres S.
	98 id.	422,6 id.	2 p. S. St-Allyre et des Bains. 1 dans les 3 autres S.

: Puy de la Poix. — Au Puy de la Poix, situé à 5 kilomètres
de Clermont, près du Puy de Crouelle, dans les pépérites
compactes environnant un dyke de basalte d'une dizaine de

mètres de hauteur, reste d'un ancien volcan (Glangeaud), sort la source la plus curieuse de la Limagne (voir planche III, fig. 3, page 57).

Paul de Caldagnès (1702), puis MM. Ledru, Nivet, Delarbre, Bouillet, Lecoq, Mure, se sont occupés de cette eau minérale. Par la même cheminée volcanique, s'écoule à la température de 12 à 15 degrés, une source salée, sulfurée sodique, bitumineuse, contenant, par litre, l'énorme proportion de 70 gr. 917 de chlorure de sodium, 7 gr. 948 de sulfate de soude, 0 gr. 386 de sulfure de sodium, de l'acide carbonique, du pétrole, du bitume (500 à 700 grammes par jour, d'avantage en été qu'en hiver), mais contrairement aux autres sources de la Limagne, elle ne renferme que des traces de bicarbonate de soude. Son débit a été considérablement réduit (700 à 800 litres par jour), par suite de fouilles faites pour la capter.

MM. Gonnard et Julien ont trouvé, dans les dépôts abandonnés par la source, les minéraux suivants : soufre, pyrite de fer, calcédoine, mésotype, calcite, gypse, sel gemme et giobertite (qui serait de l'ankérite pour M. Lacroix).

Nous avons prélevé du dépôt fait par l'eau, près du grifon et dans le fossé où elle s'écoule.

M. Mure (1876) a trouvé dans cette eau : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium, fer et manganèse).

Les raies suivantes ont été observées au spectroscope :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	3
	112	404,5	2
<i>Sodium</i>	40	589,2	7
<i>Calcium</i> ...	34	622	4
	48	553	3
<i>Bore</i>	57,5	519,2	3
	65	494,1	2

3° Chamalières (Les Roches)

Plusieurs sources, dites de Royat, celles de Saint-Mart, Saint-Victor, Marie-Louise et Fonteix, sont, sur la commune de Chamalières, mais elles appartiennent au groupe de Royat.

La source minérale des Roches ou fontaine de Beaurepaire, est située près de l'ancienne route de Royat, à 800 mètres des sources de Jaude. Elle jaillit à une température de 19° 5, du calcaire marneux tertiaire à l'extrémité de la coulée de lave de Gravenoire, avec celle de La Vallière, par une cassure qui est, comme nous l'avons dit, parallèle à celle qui donne les sources de Clermont (voir planche III, fig. 2, page 57).

Duclos (1675), Chomel (1734), Nivet (1845), Gonod et O. Henry fils (1857), Lefort (1857) et Truchot, en ont donné des analyses. Elle a un débit de 50 litres par minute. C'est une eau limpide, de saveur acidule, puis saline, ferrugineuse, qui se trouble à l'air et abandonne un sédiment jaunâtre ferrugineux. Elle est employée comme eau de table et sert à fabriquer des limonades.

Son acide carbonique sert à préparer des eaux de Seltz.

Notre prélèvement a été fait près d'un des tuyaux d'où l'eau s'écoule.

L'analyse de M. Truchot (1877) donne les métaux suivants contenus dans cette eau : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium, fer et manganèse).

L'analyse spectrale a indiqué les raies :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	3
	112	404,5	2
<i>Sodium</i>	40	589,2	6
<i>Calcium</i>	34	622	5
	48	553	4

4^o Royat

A 2 kilomètres de Clermont, à 450 mètres d'altitude, sur la rive droite de la vallée de la Tiretaine ou Scatéon, orientée de l'Est à l'Ouest, l'on rencontre la station thermale de Royat.

Ses sources sont situées, d'après M. Glangeaud, sur une ou plusieurs des fissures de la grande faille qui limite la Limagne vers l'Ouest, et fait buter près du viaduc de Royat, les arkoses redressées contre les calcaires à Potamides Lammarii (voir planche III, fig. 2, page 57). Près du viaduc, le bitume est sorti par les fissures du sol et est venu imprégner les sédiments.

Belle-Forest, Jean Banc (1605), puis divers auteurs et enfin Nivet, Lefort, Ledru, Truchot, puis Wilm (1879), ont donné des analyses de ces sources.

Ces eaux ont été connues et exploitées dès le temps des Romains. En 1820-21, on découvrit, aux Bains de César, des constructions, des vases, des médailles du Haut Empire.

En 1875, on trouva d'anciennes constructions romaines ; également en 1882, on mit à jour trois belles piscines, en construisant la nouvelle route.

Les sources, au nombre de sept, sont situées sur les deux rives de la Tiretaine, dont cinq, dans le parc, sont exploitées par la Compagnie et les deux autres appartiennent à des particuliers.

1^o La source Eugénie, une des plus belles du monde, donne, à la température de 34°, 1.000 litres d'eau à la minute et 4.000 litres d'acide carbonique, soit 1.440.000 litres d'eau et 5.760.000 litres d'acide carbonique par jour, elle sort des calcaires travertins de la rive droite ; 2^o la source César, sur la rive gauche, fournit 34.500 litres par jour, elle est employée surtout comme eau de table et alimente un petit établissement, elle est très gazeuse et dépose beaucoup ; 3^o la source Saint-Mart, dite fontaine des goutteux, rejette par intermittence toutes les 3 ou 4 minutes, 25.000 litres d'eau par 24 heures, à la température de 30 degrés, on l'utilise dans un petit établissement ; 4^o la source Saint-Victor sur la rive gauche, riche en fer, s'échappe à la température de 20°, de constructions romaines ; 5^o la source Velléda faiblement minéralisée, froide (14°), très agréable au goût, est employée comme eau

de table, ainsi que les 2 suivantes ; 6° Source Marie-Louise (16°), sur la rive droite et 7° Source Fonteix (17° 8) sur la rive gauche.

Les échantillons des dépôts ont été pris : 1° pour la source Eugénie, à la sortie du canal d'écoulement vers la Tiretaine ; 2° pour la source César, sur une fuite d'un tuyau de conduite ; 3° à la source Saint-Victor, dans le canal d'écoulement de l'eau, et 4° pour la source Saint-Mart à la sortie du tuyau d'écoulement dans la Tiretaine.

M. Wilm (1879) indique comme métaux trouvés dans ces eaux : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

Dans le spectroscope nous avons observé les raies :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	3)
	112	404,5	2) p. les 4 sources.
<i>Sodium</i>	40	589,2	7 dans la S. César.
	id.	id.	8 p. les 3 autres S.
<i>Lithium</i>	27	670,7	5 dans les sources Eu- génie et César.
Manque dans les S. St-Mart et St-Victor.			
<i>Strontium</i>	29	659,7	5) pour les sources
Manque dans les S. St-Mart et St-Victor.	37	604,5	6) Eugénie et César.]
	78,5	460,7	4)
<i>Calcium</i>	34	622	8 dans la S. Eugénie.
	id.	id.	6 pour les 3 autres S.
	48	553	7 dans la S. Eugénie.
	id.	id.	5 pour les 3 autres S.
	98	422,6	2 dans la S. Eugénie.
	id.	id.	1 pour les 3 autres S.

5° Saint-Martial (Martres-de-Veyre)

Du pont de Longue jusqu'à la base du Puy de Corent, les arkoses, sur la rive gauche de l'Allier, laissent échapper de leurs fissures, à la température de 15° 2 à 17° 1, plusieurs sources bicarbonatées chlorurées. Nous avons pu recueillir, ainsi que l'indique M. Glangeaud, de l'aragonite accolé au granite qui affleure en certains points (voir planche IV, page 66).

Nos prélèvements de dépôts ont été effectués aux griffons et près des sources suivantes :

1° Celle captée qui sort d'une borne par trois tuyaux, sous le pont du chemin de fer ; 2° source importante, à laquelle on accède par un sentier difficile ; 3° plus haut, dans la même direction, mais sur un autre sentier s'échappe une eau très incrustante ; 4° l'on rencontre ensuite la source du Tambour.

M. Truchot (1877) qui a analysé plusieurs de ces sources, dont l'emplacement est mal désigné, fait connaître dans ces eaux : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

L'analyse spectroscopique a décelé :

Métaux	Division du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	3 } 2 } pour les 4 sources.
	112	404,5	
<i>Sodium</i>	40	589,2	8 dans la 2 ^e source.
	id.	id.	10 dans les 3 autres.
<i>Lithium</i>	27	670,7	5 dans les n ^{os} 1 et 3.
Manque dans les S. n ^{os} 2 et 4			
<i>Strontium</i>	29	659,7	4 } 5 } dans les n ^{os} 1 et 3. 3 }
Manque dans n ^{os} 2 et 4.	37	604,5	
	78,5	460,7	
<i>Calcium</i>	34	622	6 dans la 2 ^e source.
	id.	id.	8 dans les 3 autres.
	48	553	5 dans la 2 ^e source.
	id.	id.	7 dans les 3 autres.
	98	422,6	1 dans la 2 ^e source.
	id.	id.	2 dans les 3 autres.

6° Sainte-Marguerite (St-Maurice)

Les sources sortent du granite, au bord et dans le lit même de l'Allier, à l'ouest de Saint-Maurice, à la base du Puy Saint-Romain, à 2 kilomètres de la gare de Vic-le-Comte (voir planche IV, page 66).

Signalées par Jean Banc (1605), puis par le Dr de Villefeut (1616), Nivet (1846) désigne onze sources, Lefort (1864) en indique six et Truchot (1878) en cite huit. Par suite des dépôts

abondants qui ont complètement obstrué les canaux, certaines sources ont disparu, quelques-unes sont intermittentes.

A l'établissement de M. Madeuf, on utilise plusieurs sources, dont trois servent aux buvettes : Celle de la Grotte, la plus importante, qui dépose beaucoup ; celle du Héron, qui dépose peu et les sources de la Chapelle (13°), peu minéralisées qui n'abandonnent aucun sédiment.

Ces eaux chlorobicarbonatées, très riches en lithine (40 milligr.), ont la même composition chimique.

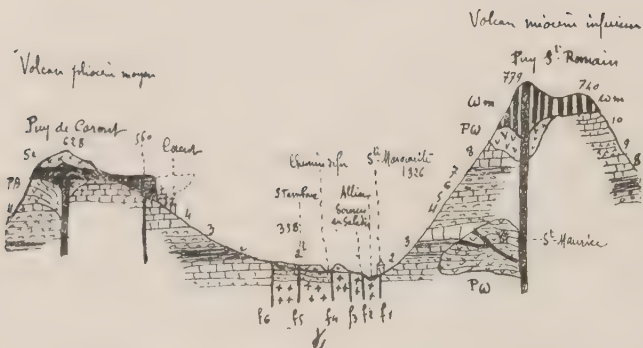
M. Héribaud a étudié la flore salée, puis récemment (acad. sciences, 3 janv. 1910), les diatomées fossiles des travertins de la Source de la Grotte. Le dépôt a été prélevé sur la vasque de la source de la Grotte et dans la rigole d'écoulement de l'eau.

L'eau de cette source contient d'après M. Truchot (1877) : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

Nous avons trouvé par l'analyse spectroscopique :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	4
<i>Sodium</i>	112	404,5	3
<i>Lithium</i>	40	589,2	9
<i>Strontium</i>	27	670,7	5
	29	659,7	3
	37	604,5	4
<i>Calcium</i>	78,5	460,7	2
	34	622	7
	48	553	6
	98	422,6	1

Planche IV



Coupe N.E. S.O. à travers le Dug. Saint-Roman (miocène inf.) et Corcent (pliocène moyen),
 $\ell = \frac{1}{80.000}$; $h = \frac{1}{15.000}$.

d'après Ph. Glangeaud (Région volcanique du P.-D., p. 47)

C. LIMAGNE D'ISSOIRE

1° Saint-Nectaire

Comprend deux agglomérations distinctes ; Saint-Nectaire le Haut, bâti sur le Mont Cornadore et Saint-Nectaire le Bas, situé à un kilomètre au sud dans la vallée du Courançon, orientée de l'Est à l'Ouest, puis du Nord au Sud, bien abritée par des montagnes de plus de 1.000 mètres.

Lefort dit qu'il divise ou à peu près le pays de montagnes de la riche et belle Limagne d'Auvergne. L'altitude moyenne est de 690 mètres.

Les Romains avaient un établissement sur l'emplacement actuel des Bains Romains. De Jean Banc (1605) à nos jours, de nombreux auteurs ont publié des travaux sur ces eaux (voir Bibliographie de St-Nectaire par le Dr Roux).

D'après le Docteur Roux, 48 sources captées dont 15 sont médicalement utilisées, donnent 1.200.000 litres par jour, comme débit moyen. Une source d'eau pure, Sapchat (0 gr. 120 de sels par litre, temp. 9°), avoisine les eaux minérales ; elle a un débit de 1.500.000 litres par jour.

Toutes ces sources sortent du granite à gauche et surtout à droite de la route, entre Saint-Nectaire bas et haut, où l'on rencontre de nombreux amas de travertins et partout des bouillonnements d'acide carbonique et des sorties d'eau minérale.

Ces eaux sont chlorurées, bicarbonatées mixtes, polymétallites, elles ont à peu près la même composition chimique, mais avec une minéralisation variant de 4 à 8 grammes de sels par litre ; elles ont cette odeur d'acide sulfhydrique et de bitume des sources de la Limagne et sont onctueuses au toucher. Le Dr Roux les classe suivant leur température en quatre groupes : hyperthermales (+ 40° à + 55°), thermales (+ 30° à + 37°), tempérées (+ 22° à + 28°) et froides (+ 9° à + 18°).

Une grande partie de ces eaux servent, comme à St-Allyre, à l'incrustation d'objets divers (S. Papon).

Une florule marine croît dans ces eaux salées, elle a été déterminée par le Frère Héribaude.

A Saint-Nectaire-le-Haut, les sources du Mont Cornadore (41°), du Rocher (43°), Intermittente (33°), du Parc et Petite source Rouge, sont utilisées à l'établissement ou aux buvettes.

A Saint-Nectaire-le-Bas, les sources Mandon ou du Gros Bouillon (37°), Coquille (+ 27°), Grande source Bœtte (44°), Saint-Césaire ou Petite source Bœtte (42°), Gubler (38°), Papon (55°), Grande source Rouge, des Dames, du Dolmen, Sainte-Marie (43°), etc., alimentent les deux établissements Bœtte et des Bains Romains, ainsi que les buvettes.

On y rencontre de nombreux minéraux.

M. Gonnard cite les ponces ou obsidiennes de Haüy, l'aragonite, les calcaires lamellaires, les pisolithes, le soufre, l'orpiment, le sperkise, la résinite ou pechstein. M. Boule indique en plus l'opale, la calcédoine, la diallogite.

M. le Docteur Roux qui a publié une Bibliographie analytique très étudiée sur Saint-Nectaire, a bien voulu nous donner les renseignements sur les sources intéressantes à étudier, qu'il veuille bien accepter nos sincères remerciements.

Nous avons prélevé des échantillons des dépôts des sources suivantes :

Saint-Nectaire-le-Haut. — 1° Source du Parc et 2° source du Rocher, sur les vasques et près des buvettes ; 3° source Papon, près de la Poste, le dépôt a été pris avant l'arrivée dans un des canaux d'épuration du grand établissement d'incrustation (voir page 34).

Saint-Nectaire-le-Bas. — 4° Source Papon, du souterrain ou des côtes (55°) qui est utilisée pour les bains, est captée dans une galerie très profonde où nous avons pris notre échantillon ; cette source dépose de la calcédoine et de l'aragonite très dure et dans les fentes du granite, près de la route, nous avons recueilli de l'orpiment ; 5° source Papon, du Pré Lamerrière, derrière l'Hôtel du Parc, l'échantillon a été prélevé dans les canaux de l'établissement d'incrustation, avant la purification ; 6° source Rouge, sur la vasque ; 7° source Césaire, le dépôt provient de la piscine, il nous a été remis par M. le Docteur Roux.

Le dépôt de la source du Rocher (voir page 29), analysé par M. Garrigou (1876), contient : calcium, lithium, sodium (magnésium, fer, etc.).

D'après les divers chimistes (Boutet, Truchot, Wilm, Ecole des mines) qui ont analysé ces sources, leurs eaux contiennent les métaux suivants : calcium, baryum (S. Rouge), lithium,

sodium, potassium, cæsium et rubidium (S. Rouge, du Parc), (magnésium, fer, manganèse).

Voici les résultats de l'examen spectroscopique pour ces sept sources :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	4)
Manque dans la S. Rouge	112	404,5	3)
<i>Sodium</i>	40	589,2	9 pour les 7 sources.
<i>Lithium</i>	27	670,7	6 dans S. Rocher et Pa- pon Lamercièrè.
manque dans les Sources du Parc, Papon de la Poste et du Souterrain, Rouge.	id.	id.	5 dans S. Césaire.
<i>Strontium</i>	29	659,7	6 S. Papon Lamercièrè.
Manque dans les Sources du Parc, Rocher, Papon de la Poste et du souterrain, Rouge	id.	id.	5 S. Césaire.
	37	604,5	8 S. Papon Lamercièrè.
	id.	id.	7 S. Césaire.
	78,5	460,7	5 S. Papon Lamercièrè.
	id.	id.	4 S. Césaire.
<i>Calcium</i>	34	622	7)
	48	553	5)
	98	422,6	1)

2° Saint-Floret

De Saint-Floret, lorsqu'on remonte la Couze d'Issoire en suivant la route des plus pittoresque, dans une vallée très resserrée, dans des défilés granitiques dominés par des montagnes basaltiques, l'on rencontre plusieurs sources minérales :

1° A 2 kilomètres environ, on traverse le ruisseau sur un pont de pierre et à près de 100 mètres, à gauche de ce pont, l'on aperçoit une masse de travertins d'où l'eau minérale s'échappe en plusieurs endroits ; 2° A quelques centaines de mètres de ce pont, après avoir repris la route, l'on rencontre à droite, au pied de la Tour de Rambaud, des travertins d'une forme singulière, sur lesquels s'épanche une eau minérale très incrustante, à une température de 16° (Lecoq) ; nous avons remarqué, ainsi que le signale Bué Hoz, les efflorescences salines dont ils se recouvrent ; 3° la source Ribeyre sort à droite et au bord de la route, près de la précédente.

D'après Nivet, la saveur de ces eaux est peu agréable, acidule, légèrement saline et ferrugineuse.

Nous n'avons trouvé aucune analyse de ces eaux.

Les échantillons des dépôts de ces trois sources ont été prélevés près des griffons et dans les rigoles d'écoulement des eaux.

Les raies suivantes ont été observées au spectroscope :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	3 } pour les 3 sources.
	112	404,5	
<i>Sodium</i>	40	589,2	7 dans le n° 1.
	id.	id.	9 dans les n° 2 et Ribeyre
<i>Strontium</i>	27,5	669,4	3 } dans le n° 1.
Manque dans les Sources N° 2 et Ribeyre.	29	659,7	
	37	604,5	
	78,5	460,7	
<i>Calcium</i>	34	622	8 } pour les 3 sources.
	48	553	
	98	422,6	

3° Saurier

Dans le village, on traverse la Couze d'Issoire, on prend un petit chemin, puis à peu de distance, un sentier à gauche, longeant le ruisseau, dans la direction de Besse, au-dessous des rochers de Creste, dans un joli paysage, sur une côte rapide, à cent cinquante mètres environ, sortent, au lieu de la Rochette, plusieurs sources incrustantes très voisines :

1° La première s'échappe dans une grande grotte ouverte et forme dès le griffon un magma ocreux très consistant qui bouche le canal d'écoulement, puis au bord du ruisseau un tuf ferrugineux léger, très spongieux.

Nous avons pris un échantillon de ces deux produits ;

2° La source suivante étant fermée, nous n'avons pu prendre de prélèvement ;

3° La source, plus éloignée, coule un peu plus haut, elle est moins ferrugineuse, le dépôt calcaire est plus compact,

elle est très incrustante et a formé un travertin très abondant. Nous avons effectué le prélèvement du dépôt ocreux et du sédiment déposé, près du griffon et dans le fossé d'écoulement des eaux.

Nous n'avons trouvé aucun renseignement sur ces sources.

L'analyse spectrale a indiqué pour les deux sources 1 et 3 :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	3
	112	404,5	2
<i>Sodium</i>	40	589,2	9
<i>Lithium</i>	27	670,7	5
Manque dans le n° 1.			
<i>Strontium</i>	29	659,7	4
Manque dans le n° 1	37	604,5	6
	78,5	460,7	3
<i>Calcium</i>	34	622	7
	48	553	6
	98	422,6	1

4° Bard (Boudes)

Pour se rendre aux sources de Bard situées dans la commune de Boudes, de Saint-Germain-Lembron, on prend la route d'Ardes que l'on suit jusqu'au château de Couzance, de là, un petit chemin, qui traverse la Couze d'Ardes, conduit directement au hameau de Bard où à une centaine de mètres plus haut que le village, l'on trouve par un petit sentier les eaux incrustantes ferrugineuses.

La source Augier, que l'on a l'intention de faire capter, est assez importante, elle est très incrustante et dépose un sédiment ferrugineux très abondant ; la propriétaire a bien voulu nous montrer, dans son jardin, de belles incrustations que son grand-père a disposées en forme de grotte. Ces eaux, d'une saveur acidule piquante, dégagent beaucoup d'acide carbonique. Elles ont été étudiées par M. Monnet, de Champeix, dès 1768, M. Truchot en a donné une analyse (1878).

Nous avons prélevé notre échantillon de dépôt près du griffon et dans le fossé par où l'eau s'écoule.

M. Truchot (1878) qui a analysé l'eau de Bard, cite les métaux suivants : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

L'examen spectroscopique a donné les raies suivantes :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	4
	112	404,5	3
<i>Sodium</i>	40	589,2	8
<i>Calcium</i>	34	622	8
	48	553	7
	98	422,6	2

5° Madriat

De Bard, un petit chemin conduit à Madriat où l'on est vivement frappé par la couleur rouge foncé des argiles de cette région. M. Marcelin Boule, dit que les failles qui produisent d'importantes dénivellations, sont la continuation de la grande cassure, limite de la Limagne.

A plusieurs centaines de mètres, par un chemin en pente, dans « la Brugère », nous arrivons à une source minérale ferrugineuse, non captée, sortant d'un creux à gauche du chemin. Cette eau acidule, alcaline, dégage beaucoup d'acide carbonique.

Nous n'avons trouvé aucun renseignement sur cette source.

Notre prélèvement de dépôt a été effectué près du griffon et dans la rigole d'évacuation des eaux.

L'analyse spectrale nous a permis de reconnaître les raies des métaux :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	16	768	3
	112	404,5	2
<i>Sodium</i>	40	589,2	5
<i>Calcium</i>	34	622	6
	48	553	5
	98	422,6	1

6° Barrège (Augnat)

De Madriat, on va reprendre la route d'Ardes, sur laquelle on trouve Barrège où près d'un moulin, s'échappent du granite, trois sources minérales.

La première se trouve sur la rive droite, au bord de la route ; les deux autres sont sur la rive gauche, l'une en face de la première et la deuxième à cinquante mètres en aval.

Tout le long de la rivière, l'on rencontre des suintements d'eaux ferrugineuses.

Ces eaux d'une température de 11°, 14° et 18°, ont une composition chimique presque identique, elles sont très gazeuses avec arrière-goût alcalin ferrugineux.

Nous avons pris notre échantillon du dépôt de la première source, près du griffon et avant l'arrivée au fossé par où l'eau s'écoule.

L'analyse de M. Truchot (1877) donne comme métaux trouvés dans cette eau : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium et fer).

Le spectroscope a indiqué les raies suivantes :

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	46	768	3
	112	404,5	2
<i>Sodium</i>	40	589,2	5
<i>Calcium</i>	34	622	5
	48	553	4

7° Chabetout (Ardes)

Situé au commencement de la vallée de la Rivière l'Evêque, sur la rive gauche de la Couze, à trois kilomètres d'Ardes. Cinq sources sortent de la roche micaschisteuse, dans l'établissement, à la température de 14°. Cette eau est limpide, d'une saveur acidule ferrugineuse, très carbonique.

Nos prélèvements de dépôts ont été effectués près des griffons des deux sources suivantes : 1° La source inutilisée, dans la grande salle de l'établissement, qui se déverse avec dégagement d'acide carbonique, dans une cuvette cimentée où l'on observe de nombreuses conferves ; 2° la première

source (que l'on dit purgative), qui coule à gauche en entrant dans la cave, elle n'est pas exploitée, car elle laisse un abondant dépôt ferrugineux.

Ces deux sources n'ont pas été analysées.

Nous n'avons pu prendre d'échantillon du dépôt de la source voisine qui est exportée. MM. Ossian Henry, Barruel, Ch. Girard, indiquent dans cette eau : calcium, lithium, sodium, potassium (magnésium, fer, manganèse, aluminium) et dans le dépôt des apocrénates de fer et de manganèse avec des traces sensibles d'arsenic.

Les raies suivantes ont été observées au spectroscope, pour les sources n° 1 et n° 2.

Métaux	Divisions du Micromètre	Longueurs d'onde	Intensités
<i>Potassium</i>	46	768	4) 3) pour les 2 sources.
	121	404,5	
<i>Sodium</i>	40	589,2	5)
<i>Calcium</i>	34	622	4 dans le n° 1.
	id.	id.	5 dans le n° 2.
	48	553	3 dans le n° 1.
	id.	id.	4 dans le n° 2.

CONCLUSIONS

Les sédiments et dépôts examinés par la méthode d'analyse spectroscopique, provenant presque tous de sources très incrustantes, n'ont pas la même composition.

Le spectroscope nous a permis d'y déceler la présence du calcium, strontium, lithium, sodium, potassium et césium.

Certains de ces métaux existent dans les dépôts si différents des sources bitumineuses du Puy de la Poix et de Cébazat, dans lesquels nous avons également constaté la présence du bore.

L'on trouve dans plusieurs de ces sédiments, non seulement les métaux existant dans l'eau, mais encore des corps non indiqués (strontium, césium), dans l'analyse chimique de l'eau minérale d'où ils proviennent.

Le strontium et le lithium se rencontrent presque exclusivement dans les sédiments pierreux et peu dans les dépôts boueux.

Ces deux métaux se retrouvent moins fréquemment dans les dépôts des eaux de la Limagne d'Issoire, que dans ceux des Limagnes de Riom et de Clermont, ce qui la différencie de ces deux dernières.

Nous avons remarqué que la composition n'est pas la même, suivant la distance du prélèvement au griffon ; pour avoir la totalité des métaux qui y sont contenus, il faut prendre un échantillon (ce qui n'est pas toujours facile), du dépôt boueux près du griffon, puis à une certaine distance et enfin du sédiment pierreux. Le sédiment pierreux devra être prélevé parmi ceux formés sous le courant de l'eau minérale et non parmi ceux lavés par les eaux pluviales dans lesquels on ne retrouve pas les sels de sodium et de potassium entraînés par ces eaux.

Les sédiments déposés par les eaux minérales de la vallée de l'Allier, dans la Limagne d'Auvergne, composés non seu-

lement de sels de chaux et de fer, mais de métaux divers tels que : strontium, lithium, sodium, potassium, cæsium, constituent un tout comme l'eau minérale elle-même, et ne doivent pas être désignés sous le nom de dépôts calcaires ou de dépôts ferrugineux, mais sous celui de *sédiments hydro-minéraux*, que nous proposons de leur donner.

Vu, bon à imprimer
Le Président de la thèse,
D. BERTHELOT.

Vu :
Le Directeur de l'Ecole,
H. GAUTIER.

Vu et permis d'imprimer :
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
L. LIARD.

BIBLIOGRAPHIE

- BARDET G. — Notions d'hydrologie moderne, Paris, Doin, 1909.
- BOUCOMONT (D^r). — Les eaux minérales d'Auvergne, Paris, Delahaye, 1879.
- Marcelin BOULE, Ph. GLANGEAUD, G. ROUCHON, A. VERNIÈRE. — Le Puy-de-Dôme et Vichy, Paris, Masson, 1901.
- Marcelin BOULE. — Observations sur les tufs et brèches basaltiques de l'Auvergne (Bul. soc. géologique, France, 18 septembre 1890).
- BREUILLARD. — Sur le feu central, Société hydrol., Paris, 18 avril 1910.
- CAMÉRE M. — Etude sur les eaux minérales de Châtelguyon, Paris, Vve Ch. Dunod, 1885.
- CARLES. — Le Fluor dans les eaux minérales. — Comptes rendus de l'Acad. des sciences, 28 janv. 1907.
- CASTEL M. — Extrait des travaux exécutés au laboratoire de Clermont-Ferrand de 1867 à 1872. — Annales des Mines, Paris, 1873.
- CONGRÈS INTERNATIONAL D'HYDROLOGIE, CLIMATOLOGIE et GÉOLOGIE de CLERMONT-FERRAND, 1897. — Paris, O. Doin.
- COURRÉJOU (D^r). — Sur les colloïdes des eaux minérales. — Gazette médicale de Paris, 15 mai 1909.
- DEMARTY J. — Les Pierres d'Auvergne. — Revue d'Auvergne. — Clermont-Ferrand, Mont-Louis, 1898.
- DIÉNERT E. — Recherche des substances fluorescentes dans quelques eaux minérales. — Comptes rendus acad. sciences, 4 avril 1910.
- DUMAS (D^r) et LECOQ H. — Etudes sur les diverses eaux minérales d'Auvergne, Clermont, Thibaud, 1869.
- DUPONT Charles. — Recherches sur le dosage spectroscopique du Rubidium (Thèse Doctorat pharmacie, Lille, 1905).
- EBLER (M.). — Etude sur la radioactivité des sources minérales. — Le Radium, décembre 1909.
- FOUCAUD J. — Colloïdes et Eaux minérales. — Gazette des eaux, 1910, page 153.
- FRENKEL. — Points cryoscopiques des principales sources. — Société hydrologie de Paris, 17 janv. 1910.

- FRENKEL. — Sur le Lithium dans les eaux minérales des Vosges. — Annales Hydrologie et Climatologie, décembre 1903.
- FRENKEL. — Radiations diverses. — Transformations des corps radioactifs. — Gazette des eaux, 1910, p. 212.
- GARDE G. — Excursion minéralogique et géologique dans la Limagne. — Revue d'Auvergne, Clermont-Ferrand, Mont-Louis 1899.
- GARRIGOU. — Saint-Nectaire. — Compte rendu du Congrès pour l'avancement des sciences. — Clermont-Ferrand. 1876.
- GAUTIER A. — La genèse des eaux thermales et ses rapports avec le volcanisme. — Annales des mines, mars 1906.
- GAUTIER A. — Formation des eaux minérales. — C. R., acad. sciences t. CXXXII.
- GAUTIER A. — Eaux météoriques et eaux vierges. — C. R., acad. sciences, 21 fév. 1910.
- GAUTRELET E. et H. DE LALAUBIE. — Contribution à l'étude géologique de la formation des eaux minérales de Vichy. — Rev. maladies Nutrition, 1908.
- GIRARDIN M. J. — Annales scientifiques, littéraires et industrielles de l'Auvergne, année 1837, page 121.
- GIROD (Dr). — Influence des tremblements de terre sur le régime des eaux minérales. — Congrès international d'hydrologie, climatologie et géologie de Clermont, 1897, Paris, O. Doin.
- GISEMENTS BITUMINEUX DE LA LIMAGNE D'Auvergne. — Paris, Victor Goupy, 1876.
- GLANGEAUD Ph. — Géographie physique et Géologie du département du Puy-de-Dôme, Clermont-Ferrand, Mont-Louis, 1908.
- GLANGEAUD Ph. — Les Régions volcaniques du Puy-de-Dôme, Paris, Ch. Béranger, 1909.
- GLANGEAUD Ph. — Carte géologique, Clermont. — Paris, Ch. Béranger, 1910.
- GONNARD F. — Minéralogie du département du Puy-de-Dôme, Paris, Savy, 1876.
- GONOD. — Description du Puy-de-Dôme, Paris, 1834.
- GRAMONT (Arnaud de). — Analyse spectrale directe des minéraux, Paris, Baudry, 1895.
- GRAMONT (Arnaud de). — Spectroscopie, Paris, Hermann, 1908.
- GRANDEAU Louis. — Recherches sur la présence du rubidium et du césium dans les eaux, etc., Paris, Mallet-Bachelier, 1862.
- GRANDERYE L. M. — Détermination des roches, Paris, Gauthier-Villars.
- GRAUX Lucien. — Minéralisation exacte des eaux minérales. — Société hydrologie médicale, janvier 1906.

- HÉRIBAUD Joseph. — Recherches sur les diatomées des travertins des eaux de Ste-Marguerite. — C. R., acad. sciences, 3 janvier 1910.
- HUGUET R. (Dr). — Les principales stations thermales du Puy-de-Dôme, Clermont-Ferrand, Mont-Louis, 1908.
- JACQUOT et WILM. — Les Eaux minérales de la France, Paris, Baudry, 1894.
- JADIN F. — Précis d'hydrologie et minéralogie, Paris, Maloine, 1899.
- LACAZE (Dr). — Etude sur les eaux minéro-thermales de Rouzat. Paris, Baillière, 1863.
- LACROIX M. — Minéralogie de la France et de ses colonies, Paris, Baudry, 1896-1907.
- LECOQ H. — Etude sur les diverses eaux minérales d'Auvergne.
- LECOQ H. — Observations sur le gisement d'acide carbonique et des bitumes dans le département du Puy-de-Dôme, 1828.
- LECOQ H. — Eaux minérales du massif central considérées dans leurs rapports avec la chimie et la géologie, Paris, Rothschild, 1865.
- LECOQ DE BOISBAUDRAN. — Spectres lumineux, Paris, Gauthier-Villars, 1874.
- LEFÈVRE J. — La spectrométrie. — La spectroscopie, Paris, Gauthier-Villars et Masson, 1896.
- LEFORT Jules. — Etudes physiques et chimiques sur les principales eaux minérales du Puy-de-Dôme, Paris, Pillet fils aîné, 1863.
- MASSOL G. — Analyse des dépôts des eaux minérales sulfureuses d'Uriage (Isère). — C. R. acad. médecine, 10 mai 1910.
- MOUREU Ch. — Radioactivité et gaz rares. — Crénothérapie, Climatothérapie. Thalassothérapie. Paris, Baillière, 1910.
- NIVET V. — Dictionnaire des eaux minérales du département du Puy-de-Dôme, Clermont, 1846.
- NIVET V. — Etudes sur les eaux minérales de l'Auvergne et du Bourbonnais, Clermont, Thibaud-Landriot, 1850.
- OSSIAN Henry, père et fils et BARRUEL Ernest. — Notice sur Chabotout et ses sources minérales, Paris, Prodhomme, 1858.
- PARMENTIER. — Source Grassion à Clermont. — Comptes rendus de l'acad. des sciences, 1899.
- POZZI-ESCOT M. E. — Analyse microchimique et microscopique, Paris, Gauthier-Villars et Masson.
- RAY-DURAND-FARDEL. — Radioactivité et gaz rares. — Société d'hydrologie médicale, 1910.

- ROTUREAU (Dr). — Eaux de Saint-Nectaire. — Dictionnaire des sciences médicales de Dechambre, Paris, Asselin, 1885.
- ROUX E. (Dr). — Essai de Bibliographie analytique de Saint-Nectaire, Paris, Masson, 1905.
- SALET G. — Traité élémentaire de spectroscopie, Paris, Masson, 1888.
- TRUCHOT P. et FREDET G. E. — De la Lithine dans les eaux minérales de Royat et dans les principales sources thermales d'Auvergne, Paris, Delahaye, 1875.
- TRUCHOT P. — Dictionnaire des eaux minérales du département du Puy-de-Dôme, Paris, Delahaye, 1878.
- TARDIEU. — L'Auvergne (Puy-de-Dôme), chez l'auteur, à Herment (P.-de-D.).
- WATTEVILLE Ch. DE. — Spectres de flammes, Paris, Charles Herissey, 1904.
-

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	7
------------------------	---

PREMIERE PARTIE

Chapitre I

1 ^o Département du Puy-de-Dôme.	11
2 ^o La Limagne. — Failles de la Limagne.	12

Chapitre II

Eaux minérales

1 ^o Caractères d'une eau minérale.	15
2 ^o Théories de la formation des eaux minérales.	15
Formation des eaux minérales de la Limagne.	16
3 ^o Classification des eaux minérales	17
4 ^o Composition des eaux minérales.	19

DEUXIÈME PARTIE

Chapitre I

Sédiments, Dépôts et Incrustations

1 ^o Action de l'air sur les eaux minérales.	23
2 ^o Quantités de substances contenues dans les eaux	24
3 ^o Sédiments et Dépôts.	25
4 ^o Formation des Sédiments et Dépôts	27
5 ^o Analyses des Travertins et Dépôts.	28
6 ^o Classification des Sédiments et Dépôts.	30
7 ^o Incrustations (Pétrifications).	31
8 ^o Corps retenus dans les précipitations.	35

Chapitre II

Analyse spectroscopique

1 ^o Sensibilité de la méthode spectroscopique.	37
2 ^o Précautions à prendre dans les recherches.	38
3 ^o Spectroscope employé dans nos recherches	41
4 ^o Graduation de notre spectroscope	41
5 ^o Intensités relatives des raies.	42
6 ^o Mode opératoire employé.	42

Chapitre III

Etude des sources qui abandonnent des sédiments et dépôts	45
1 ^o Sources de la Limagne de Riom.	47
2 ^o Sources de la Limagne de Clermont	55
3 ^o Sources de la Limagne d'Issoire.	67
Conclusions	75
Bibliographie.	77

PLANCHES

<i>Planche I.</i> — Limagne et coupe du département du P.-de-D.	9
<i>Planche II.</i> — Courbe des longueurs d'onde de notre spectroscope.	43
<i>Planche III.</i> — Coupes des terrains des sources (Cébazat, Royat-Clermont, Puy de la Poix).	57
<i>Planche IV.</i> — Coupe des terrains des sources (Plateau de St-Martial et Ste-Marguerite)	66

oo

